

Mikko Jakobsson

Pientalon energiaremontti

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
31.5.2012

Tekijä Otsikko	Mikko Jakobsson Pientalon energiaremontti
Sivumäärä Aika	100 sivua + 24 liitettä 31.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööri työ on laadittu EEMontti-hankkeen aikana kerätystä tutkimustiedosta. Hanke pyrkii helpottamaan pientaloasukkaan onnistumista kiinteistön energiatehokkuutta parantavassa remontissa. Pientalojen sähkönkulutuksen pienentäminen on tärkeää, sillä ne ovat suurin lämmityssähkön käyttäjäryhmä. Pientalojen lämmityssähkön kulutuksen pienentämisellä voidaan vaikuttaa koko maan loppuenergiankulutukseen.</p> <p>Työssä selvitettiin yksityiskohtaisesti tarkastellun pientalon energiankulutus ennen ja jälkeen remontin, jossa lämmitysjärjestelmä vaihdettiin uuteen. Lisäksi kerrotaan laajasti rakennuksen uusien ja vanhojen LVI-järjestelmien toiminnasta ja komponenteista. Energiankulutuslaskentaa varten tehdyt mittaus- ja selvitystoimenpiteet esitellään laajasti.</p> <p>Työssä esitellään tehdyn remontin toteutus sekä remontin vaikutukset energiankulutukseen ja sisäilmastoon. Myös asukkaan näkemys remontin toteutuksesta ja onnistumisesta tuodaan esille. Hankkeen parannusehdotuksia on kerätty asukkaalta, urakoitsijalta sekä muilta hankkeessa mukana olleilta tahoilta.</p> <p>Tehtyjen laskelmien sekä tarkentavien mittausten ja selvityksen perusteella tutkittiin Suomen rakentamismääräyskokoelman vakioarvojen tarkkuutta energiankulutuksen laskennassa. Monivaiheisena tehty laskenta paljastaa energiankulutuslaskennan tarkentuvan kun järjestelmät tunnetaan hyvinkin yksityiskohtaisesti. Lisäksi huomattiin monenlaisia eri lämmönluovuttimia sekä eri lämmöntuottotapoja sisältävän lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennan haasteet.</p> <p>Insinööri työssä todettiin maalämpöpumppujärjestelmän pienentävän ostoenergiankulutusta verrattuna vanhaan sähkölämmitykseen. Lisäksi käyttäjän tottumusten ja kulutustapojen vaikutus vuotuisen energiankulutukseen saatiin selville. Myös näkemyksiä maalämpöpumppualan nykytilanteesta saatiin haastatelluilta alan asiantuntijoilta.</p>	
Avainsanat	pientalon energiankulutus, EEMontti, energialaskenta, energiaremontti, maalämpöpumppu, RakMK D5

Author Title	Mikko Jakobsson An energy demand decreasing renovation in a one-family house
Number of Pages Date	100 pages + 24 appendices 16 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The main objective of this bachelor's thesis was to calculate the energy consumption before and after the change of the heating system. The data used in this thesis is picked from the EEMontti-project which main objective is to make an energy consumption decreasing renovation easier in small houses.</p> <p>Also the operation and components of the HVAC systems are widely described as well as all the measurements that were made to get an accurate calculation of energy consumption. One of the goals is to clarify the energy consumption calculation process and how to get more specific values to use to get an accurate calculation. Also the accuracy of given standard values in the Finnish building regulations was studied.</p> <p>The energy consumption was calculated with an energy consumption calculator. All the inserted data was measured or they were picked out from the Finnish building regulations, part D5.</p> <p>The accuracy of the standard values was shown to be decent, but to get an accurate calculation you have to know the systems thoroughly. Also the challenges in calculations for a system with many types of heating distribution systems were faced. According to the calculations the new heating system with ground heat as the heat source decreases the amount of heating electricity greatly.</p>	
Keywords	energy consumption, energy calculations, one-family house, RakMK D5, ground source heat pump

Sisällys

1	Johdanto	1
2	EEMontti-hanke	3
3	Kohteen kuvaus	5
3.1	Rakennus	5
3.2	Rakennetyypit	6
3.3	LVI-järjestelmät	6
3.3.1	Lämmitysjärjestelmä	6
3.3.2	Vesi- ja viemärijärjestelmä	8
3.3.3	Ilmanvaihtojärjestelmä	10
3.4	Kuntotarkastus	13
4	Tilanne ennen remonttia	14
4.1	Mittaukset	14
4.1.1	Seurantamittaukset	14
4.1.2	Kertamittaukset	15
4.1.3	Mittalaitteisto	17
4.2	Mittaustulokset	18
4.2.1	Seurantamittaukset	18
4.2.2	Lattian pintalämpötilat	19
4.2.3	Ulkoseinien pintalämpötilat	20
4.2.4	Tulo- ja poistoilmavirrat	20
4.2.5	Rakennuksen tiiviys	22
4.2.6	Tuloilman lämpötila	22
4.3	Energialaskelmat	22
4.3.1	Laskennan kulku	23
4.3.2	Ensimmäisen vaiheen energialaskenta	24
4.3.3	Toisen vaiheen energialaskenta	27
4.3.4	Vertailu	28
5	Kiinteistöön tehdyt tarjoukset	30
5.1	Voittajaratkaisu	31
5.2	Toiseksi tullut ratkaisu	32
5.3	Valinta	35

6	Remontin toteutus	36
6.1	Remontin kulku	36
6.2	Toteutettu järjestelmä	38
6.2.1	Maalämpöpumpppujärjestelmän toiminta	40
6.2.2	Rakennuksen lämmönjako	42
6.2.3	Käyttövesiverkoston muutokset	44
6.2.4	Kiinteät mittalaitteet	44
7	Tilanne remontin jälkeen	45
7.1	Mittaukset	45
7.1.1	Seurantamittaukset	45
7.1.2	Kertamittaukset	49
7.1.3	Kiinteät mittalaitteet	50
7.1.4	Mittalaitteisto	51
7.2	Mittaustulokset	53
7.2.1	Sisä- ja ulkoilman lämpötila	53
7.2.2	Sisäilmasto	55
7.2.3	LTO-kennon hyötysuhde	56
7.2.4	Kodinkoneiden ja kodin sähkölaitteiden sähkönkulutus	59
7.2.5	Tulo- ja poistoilmavirrat	62
7.2.6	IV-koneen puhaltimien sähkön ottoteho	62
7.2.7	Autopistokkeen sähköteho	63
7.2.8	Makuuhuoneen äänitasot	64
7.2.9	Kiinteät mittalaitteet	64
7.3	Energialaskelmat	66
7.3.1	Ilmanvaihtolaitteiden sähköenergiansäilytys	66
7.3.2	Muiden laitteiden sähköenergiansäilytys	68
7.3.3	Valaistuksen sähköenergiansäilytys	69
7.3.4	Lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhde	71
7.3.5	Tarkennettu ennen remonttia olleen tilanteen energialaskelma	77
7.3.6	Laskenta	78
7.3.7	Laskennan tulokset	79
7.4	Energiansäilytys jatkossa	85
8	Palvelun kehittäminen	87
8.1	Palvelukonseptin kehittäminen	87
8.2	Remontin toteutus	88

8.3	Vaikutukset sisäilmastoon	90
8.4	Päärahoittajan edustajan näkemykset	91
9	Maalämpöpumppualan nykytilanne sekä tutkimus Suomessa	93
9.1	Asiantuntijahaastattelut	93
9.2	Maalämpöpumppualan tutkimus Suomessa	96
10	Yhteenveto	98
	Lähteet	101

Liitteet

Liite 1.	Rakennuksen pohjapiirros, 1. kerros
Liite 2.	Rakennuksen pohjapiirros, 2. kerros
Liite 3.	Rakennetyyppejä
Liite 4.	Kuntotarkastusraportti (yhteenveto ja oleellisimmat havainnot)
Liite 5.	Mittaussuunnitelma
Liite 6.	Mittalaitteiden sijoituspaikka
Liite 7.	Tiiviysmittauksen pöytäkirja
Liite 8.	Sisä- ja ulkolämpötilat ennen remonttia
Liite 9.	Olohuoneen hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus ennen remonttia
Liite 10.	Lattian pintalämpötilat
Liite 11.	Seinien lämpöindeksit
Liite 12.	Tilakohtaiset ilmavirrat
Liite 13.	Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, vaihe 1
Liite 14.	Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, vaihe 2
Liite 15.	Sisäilman lämpötilat ja arvioidut ulkoilman lämpötilat remontin jälkeen
Liite 16.	Olohuoneen hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus remontin jälkeen
Liite 17.	Makuuhuoneen hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus remontin jälkeen
Liite 18.	LTO-mittauksen tulokset
Liite 19.	Lämpötilan pysyvyyskäyrä
Liite 20.	Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, vaihe 3
Liite 21.	Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, remontin jälkeen
Liite 22.	Kyselylomake, palvelukonsepti
Liite 23.	Kyselylomake, remontin toteutus
Liite 24.	Kyselylomake, sisäilmastokysely

1 Johdanto

Tämä insinöörityö on laadittu EEMontti-hankkeen aikana kerätystä tiedosta. EEMontti-hankkeen tarkoituksena on helpottaa tavallisen omakotiasujan onnistumista kiinteistön energiatehokkuutta parantavassa korjauksessa. Hanke on toteutettu luomalla neljä referenssitapausta, jotka edustavat maassamme olevia noin 500 000:ta sähkölämmitteistä pientaloa. Lisäksi sen tarkoituksena on luoda uusia kriteerejä sekä kokonaisratkaisuja onnistuneiden korjaushankkeiden aikaansaamiseksi.

Vuonna 2007 pientalot kuluttivat eri rakennustyypeittäin eniten energiaa. Lämmityssähköä ne kuluttivat lähes yhtä paljon kuin kaikki muut rakennustyyppit yhteensä (1). Näille sähkölämmitteisille taloille on vaikea löytää kannattavia parannuskeinoja ja ne ovat energiankulutuksen pienentämisen suhteen vaativin kohderyhmä. Pientalojen suuresta lämmityssähkönkäytöstä johtuen on tämän rakennustyyppin lämmitysenergiankulutusta pienentämällä mahdollista vaikuttaa suuresti rakennusten energiankulutukseen. Pientalojen lämmitykseen kuluu lähes viidennes koko maan loppuenergiankäytöstä. Tätä osuutta pienentämällä voidaan vaikuttaa suuresti koko maan loppuenergian kulutukseen.

Tässä opinnäytetyössä esitetty pientalon lämmitysenergian pienentämiseen vaikuttava remontti on merkittävä pientalojen lämmitysenergian säästön kannalta. Työ esittää keinon yksittäisen talon lämmitysenergiankulutuksen pienentämiseen, joka saattaa sopia moneenkin Suomalaiseen sähkölämmitteiseen pientaloon. Näin ollen opinnäytetyön tuloksilla on tärkeä merkitys kokonaisenergiankulutuksen pienentämisessä.

Tässä työssä on esitelty yhden referenssikohteen energiankulutuksen ja remontin seurannan tulokset. Samoin työssä on esitelty laitteistojen toimintaa sekä mittauksen suorittamista. Käytetty tieto on kerätty hankkeen seurantajakson ajalta. Kohteen energiankulutustiedot on selvitetty käyttäen omakohtaisia laskelmia, jotka perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osaan D5, sekä mittauksia. Työssä on myös perehdytty urakoitsijan näkemykseen hankkeesta ja energiaremonteista sekä

esitelty muita maassamme tehtyjä vastaavanlaisia tutkimuksia ja asiantuntijoiden näkemyksiä alan nykytilasta.

Työssä on myös esitelty vanhojen LVI-järjestelmien muutos uuteen. Työssä esitellään seikkaperäisesti energiankulutuksen selvittämisen vaiheet sekä vertaillaan vanhan ja uuden järjestelmän energiankulutustietoja. Työ on pyritty laatimaan helppolukuiseksi ja ymmärrettäväksi kaikille koulutustaustasta riippumatta. Työn luettuaan lukijalla on selkeä käsitys järjestelmän muutoksesta sekä sen mukanaan tuomasta energiankulutusten muutoksista. Myös laitteistojen toiminta sekä mittauksen ja laskelmien suorittaminen selviää lukijalle.

Tutkimuksessa on keskitytty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 energialaskentaan vaikuttavien asioiden tutkimiseen. Tarkentavina tutkimuksina on tehty sisäilmastoon ja asumismukavuuteen liittyviä mittauksia. Kohteessa ei ole tutkittu tarkemmin rakenteellisia asioita kuin tiiveyden ja ilmavuotojen osalta. Rakenteiden toimivuutta on arvioitu vain asumismukavuuden näkökulmasta. Valaistukseen liittyviä asioita ei ole tutkittu tai mitattu; niiden vaikutukset on arvioitu vain laskelmin.

Hankkeen tavoitteisiin liittyvän kokonaispalvelun kehittämistä on arvioitu eri tahoille tehtyjen kyselyiden ja haastattelujen pohjalta. Näiden tarkoitus on ollut selvittää osapuolten näkemys hankkeen onnistumisesta ja toteutuksesta. Asiantuntijahaastattelujen perusteella on pyritty luomaan kuvaa maalämpöpumppualan nykytilasta Suomessa sekä saamaan käsitys muista tehdyistä tutkimuksista alalla.

2 EEMontti-hanke

EEMontti-hankkeen taustalla on EU:n asettamat energiansäästö tavoitteet. Rakennukset kuluttavat n. 45 % Suomen energiankulutuksesta ja lähes viidennes energiankulutuksesta kuluu asuinrakennusten lämmittämiseen. Hanke tähtää rakennusten lämmitysenergiankulutuksen pienentämiseen. Nimitys EEMontti tulee sanoista EnergiarEEMontti. (2.)

EEMontti- hanketta koordinoi Green Net Finland Ry. Hankkeen päärahoittaja on Suomen itsenäisyyden juhlarahasto SITRA. Muita hanketta rahoittaneita tahoja ovat TEKES, Talotekniikan koulutuksen ja tutkimuksen tukiyhdistys, Suomen lämpöpumppuyhdistys Sulpu ry, Rettig Oy ja Honeywell Oy. (3.)

Hankkeen tavoite on helpottaa tavallisen asunnonomistajan onnistumista kiinteistön korjausratkaisujen hankinnassa. Hankkeessa on mukana neljä referenssikohdetta, jotka edustavat Suomen n. 500 000 kiinteistöä, joissa ei ole vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. Tavoitteena on luoda esimerkkejä korjausten suorittamiseen pilotoimalla se näissä neljässä kiinteistössä. Samalla luodaan uusia kriteerejä ja kehitetään palveluiden sopimusmalleja onnistuneiden hankkeiden aikaansaamiseksi. (2.)

Jokaisen kohteen omistaja teettää asunnossaan energiaremontin. Remontti pohjautuu kohteessa tehtyyn kuntokartoitukseen, jonka pohjalta tarjouspyyntöasiakirjat on valmisteltu. Näiden lähtötietojen ja alla olevien ehtojen mukaan yritykset tarjoavat kohteeseen korjauspalvelutoteutuksen tai -toteutuksia. (2.)

Ratkaisujen tulee täyttää ainakin seuraavat ehdot (2):

- Ratkaisun tulee vähentää kiinteistön lämmitysjärjestelmän energiankulutusta vähintään 50 %:lla lähtötilanteeseen verrattuna. Tällä tarkoitetaan lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutusta sisältäen tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen RakMK osan D3 2012 määritelmien mukaan.
- Kohteissa mahdollisesti jo olemassa olevia tulisijoja ja ilmalämpöpumppuja ei oteta huomioon energialaskelmassa ja niiden vaikutus poistetaan rakennuksen energiankulutustiedoista.

- Korjauksen toteutus (remontti) saa kestää maksimissaan 3 viikkoa
- Remonttien arvioitu toteutuksen ajankohta on joulukuu 2011 – tammikuu 2012.
- Remontin toteutus ei saa aiheuttaa omistajalle muutamaa päivää pidempää poissaolon tarvetta.
- Muutostöiden tulee tuottaa lämmitysremonttiin sijoitetulle pääomalle vähintään 14 %:n tuotto (3 %:n inflaatiolla, 3 %:n energianhinnan vuosittaisella nousulla, kilpailun järjestäjä suorittaa laskelman).

Yritykset toimittavat tarjouksensa hankkeen koordinaattorille, joka toimittaa ne eteenpäin omistajalle sekä asiantuntijaraadille. Raati arvioi ja pisteyttää tarjoukset. Omistajalla on käytössään ratkaisua tehdessä raadin lausunto. (2.)

Tämän kilpailun rinnalla toteutetaan seurantaosuus, jonka tarkoituksena on selvittää energiaremontin aikaansaamat todelliset säästöt. Tämä insinööri työ on laadittu em. osion aikana kerätystä tiedosta.

3 Kohteen kuvaus

3.1 Rakennus

Kohderakennus on vuonna 2006 valmistunut erillistalo Vantaan Kivistössä. Rakennus on osittain 2-kerroksinen, ja sen pinta-ala on 115 m². Lisäksi rakennukseen kuuluu autokatos, joka on talon sivustalla. Rakennuksen oma aidattu piha-alue sijoittuu autokatoksen taakse. Rakennuksessa asuu kaksi aikuista.



Kuva 1. Rakennus edestä

Alakerrassa on yhden asuinhuoneen, olohuoneen, keittiön ja ruokailutilan lisäksi sauna ja pesuhuone, kuisti/eteinen sekä varasto. Yläkerrassa on makuuhuone, porrasaula sekä kylpyhuone, johon on sijoitettu myös kodinhoitohuoneen toiminnot. Rakennuksen pohjapiirrokset ovat liitteinä 1 ja 2.

Rakennuksen asuinpinta-ala on 115 m² ja brutto-ala 137,3 m². Rakennuksen laskettu ilmatilavuus on 355 m³. Kerroskorkeus rakennuksessa on 3,0 m huonekorkeuden ollessa 2,6 m.

3.2 Rakennetyypit

Rakennuksen kantavat ulkoseinät ovat teräsbetonielementtejä. Joiltain osin ulkoseinät ovat myös kantamattomia, jolloin ne on toteutettu puurunkoisina. Rakennuksessa on harjakatto, jossa on puurunko ja pinnoitteena konesaumattu pelti. Alapohjana rakennuksessa on käytetty Legalett-perustusta. (4; 5.)

Alla on listattu rakenteiden U-arvot:

- yläpohja 0,16 W/m²K (4.)
- ulkoseinät 0,25 W/m²K (4.)
- alapohja 0,14 W/m²K (5.)
- ikkunat ja ovet 1,4 W/m²K (4.)

Rakennetyyppien periaatekuvat on esitetty liitteessä 3.

3.3 LVI-järjestelmät

Rakennuksen LVI-järjestelmät ennen remonttia olivat alkuperäisessä kunnossa. Niiden huolto- ja korjaustoimenpiteet on kaikki suoritettu ajallaan. Laitteet ovat toimineet pääasiassa moitteetta, mutta alakerran lattialämmitystä on vaivannut epätasainen lämmönjako. Asiaa tutkitaan tätä kirjoitettaessa rakennuttajan toimesta. Teknisenä laitetilana rakennuksessa on eteisen vieressä oleva varasto, johon on sijoitettu myös rakennuksen sähkökeskus.

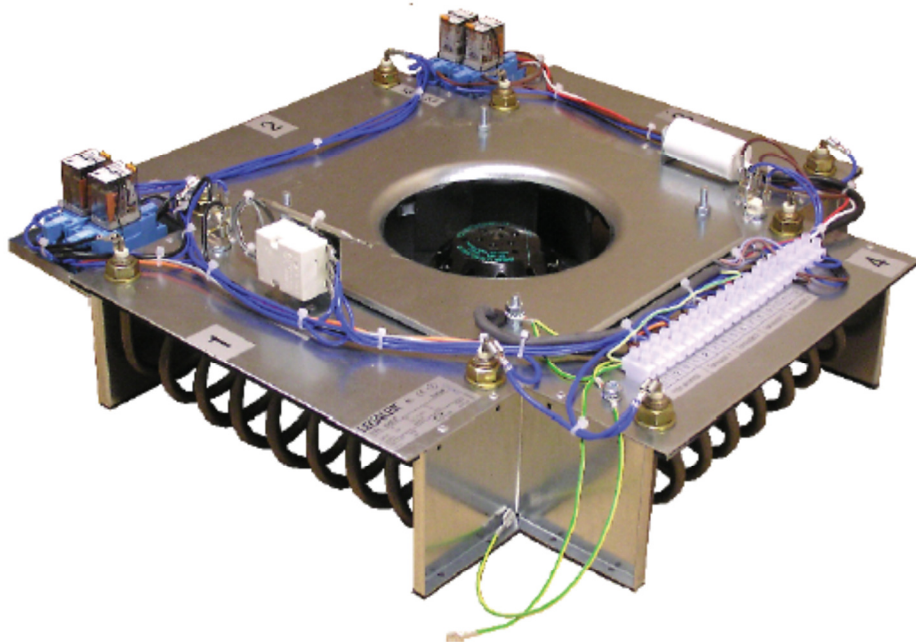
3.3.1 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen lämmitysmuoto on suora sähkölämmitys. Pääasiallisena lämmönjakotapana on ilmakiertoinen lattialämmitys, joka on osa Legalett-perustusjärjestelmää. Lisälämmönlähteinä olohuoneessa, eteisessä ja yläkerran makuuhuoneessa on sähköpatterit. Yläkerran kylpyhuoneessa on sähköinen lattialämmitys.

Legalett-lattialämmitysjärjestelmässä perustuksiin on asennettu rakentamisen yhteydessä muoviputkia, joissa lattiaa lämmittävä ilma kulkee. Putket on tehty

muovista ja niiden halkaisija on 50 mm. Legalett-lattialämmitysjärjestelmän puhallinyksikkö, joka myös lämmittää ilman, on sijoitettu myös lattiarakenteeseen ja se on sijoitettu portaiden alla olevan varastotilan lattiaan. Liitteessä 4 on esitetty Legalett-järjestelmän suunnittelukuva. Kohteessa Legalett-järjestelmällä lämmitetään vain alakerrassa. Lämmitettäviä tiloja ovat asuinhuone, keittiö, olohuone, ruokailutila, eteinen sekä pesuhuone ja sauna. Jokaista lämmityspiiriä ohjataan yhdellä huonetermostaattilla, jolloin yksi piiri siis käsittää myös yhden tilan. Kohteessa lämmityspiirit on jaettu seuraavasti: asuinhuone, keittiö, olohuone ja ruokailutila sekä sauna ja kylpyhuone.

Lämmitysjärjestelmän lämmityslaite (kuva 2) on mallia 4000 E, ja siinä on 4 kpl 1000 W:n vastuksia sekä puhallin. Laite on neliön muotoinen, jolloin jokaiselle sivulle on sijoitettu yksi vastus. Puhallin on sijoitettu neliön keskelle niin, että se pystyy puhaltamaan kaikkiin neljään suuntaan.



Kuva 2. Legalett 4000 E -lämmityslaite (Linterm Oy)

Lämmityslaitteen toimintaa ohjataan huonetermostaateilla, joilla säädetään haluttu sisäilman lämpötila. Termostaatti käynnistää ja sulkee lämmityslaitteen vastuksia mittaustiedon mukaan. (6.)



Kuva 3. Legalett 4000 A 50/50 –lämmityslaitetekelo (Linterm Oy)

Lämmityslaitte on sijoitettu koteloon (kuva 3), johon lattialämmityspiirien putket ovat liitetty. Järjestelmään menevät lämminilmaputket lähtevät laatikon alaosaan ja palaavan ilman putket on kiinnitetty laatikon yläosaan. Laatikon jokaiseen sivuun voidaan liittää yhteensä 5 tulevaa ja lähtevää putkea. Piirien pituus poikkeaa esim. vesikiertoisesta lattialämmityksestä siten, että lämmitettävään tilaan ei asenneta vain yhtä putkilenkkiä, vaan niitä on useampia. Tällöin yhden lenkin pituus on suhteellisen lyhyt. Tämä johtuu ilman lämmönluvutuskyvystä, joka esim. veteen verrattuna on erittäin heikko. Tästä johtuu myös ilmaputkien suhteellisen suuri halkaisija. (6; 7; 8.)

3.3.2 Vesi- ja viemärijärjestelmä

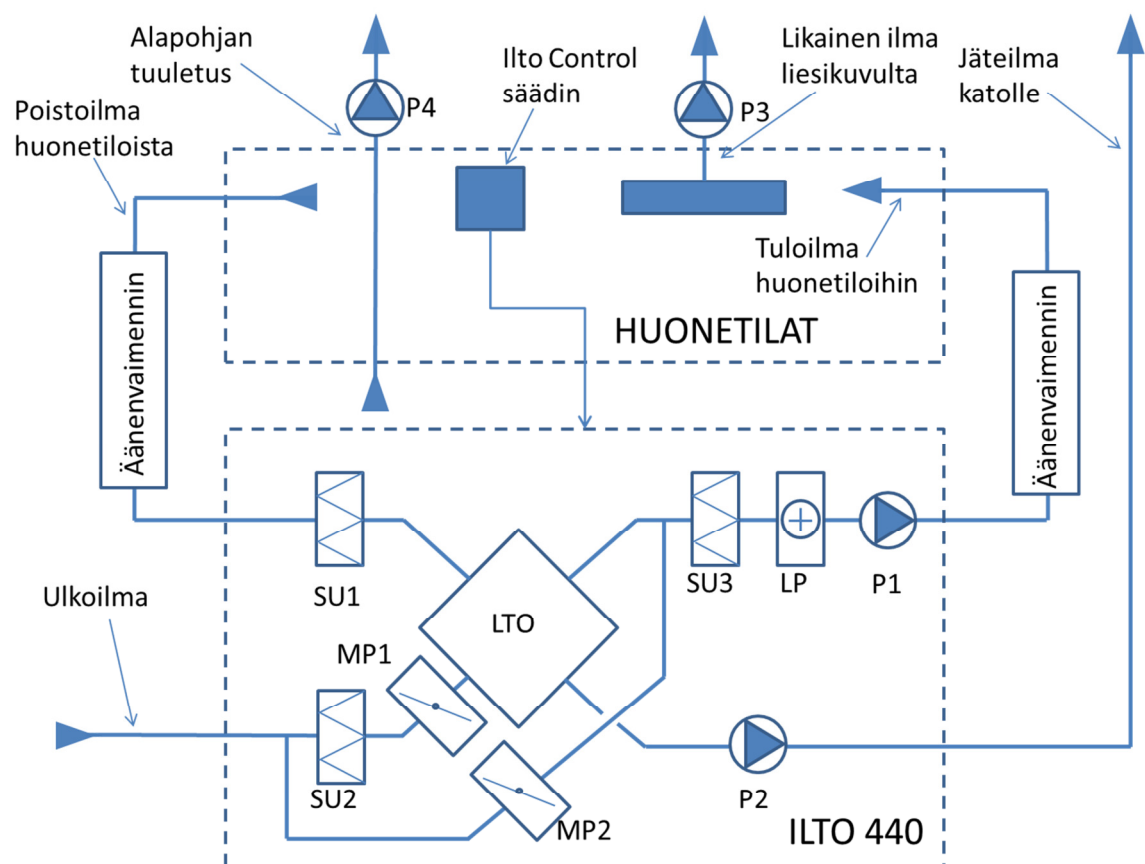
Rakennuksen vesi- ja viemärijärjestelmää voidaan kuvailla normaaliksi pientalojärjestelmäksi. Käyttövesi lämmitetään sähköllä ja sitä varastoidaan tilavuudeltaan 200 litran lämminvesivaraajaan, joka on sijoitettu rakennuksen tekniseen tilaan. Samassa tilassa on päävesimittari, joka mittaa rakennukseen tulevan kylmän veden kulutusta.



Kuva 4. Lämminvesivaraaja

Lämminvesivaraajalta (kuva 4) lähtevät kupariset vesijohdot on asennettu kulkemaan kuistin alakatossa pesuhuoneeseen, johon on sijoitettu kylmän ja lämpimän veden jakotukit. Lämpimän veden kiertojohtoa ei ole, mutta sen sijasta lämminvesijohto on saattolämmitetty varaajalta jakotukille. Jakotukeilta lähtevät vesikalusteiden kytkentäjohdot ovat muoviputkia suojaputkessa. Yläkerrassa oleville vesipisteille vesijohdot on asennettu alakerran alakattoon, ja ne nousevat ylös kalusteen kohdalla seinän sisällä. Käyttövesijärjestelmän periaatekaavio on esitetty kuvassa 5. (9.)

Ilmanvaihtokoneessa on suodattimet poistoilmalle (SU1), raitisilmalle (SU2) sekä tuloilmalle (SU3). Tuloilman lämmitys haluttuun arvoon toteutetaan sähköisellä jälkilämmityspatterilla (LP). Koneessa on automaattinen kesäaikainen lämmöntalteenottokennon ohitus, jolla ehkäistään liian lämpimän sisäänpuhallusilman syntyminen. Kun ulkoilman lämpötila ylittää asetetun arvon, sulkeutuu tuloilmapelti (MP1) ja vastaavasti kiertoilmapelti (MP2) avautuu päästämällä raittiin ilman kulkemaan kennon ohitse. Tuloilmapuhallin (P1) puhalttaa ilman tuloilmakanavistoon ja poistoilmapuhallin (P2) imee poistoilman huoneistosta LTO-kennon läpi ja puhalttaa sen jäteilmakanavaan. (10.)



Kuva 6. Ilmanvaihtojärjestelmän periaatekaavio (9.)

Ilmanvaihtokone on asennettu n. 20 cm:n korkeudelle lattiasta, ja siitä suoraan ylös nouseviin tulo- ja poistoilmakanaviin on asennettu äänenvaimentimet. Kanavat ovat normaaleja kierresaumakanavia. Ilmanvaihdon ohjauskytkin (kuva 7) on asennettu portaikon viereiselle seinälle. Kytkimestä voidaan säätää tulo- ja poistoilmapuhaltimien nopeutta, tai tarvittaessa se kytketään pois päältä.



Kuva 7. IV-koneen ohjauskytkin

Taulukossa 1 on esitetty tilat, joissa on tulo- ja poistoilmapäätelaitteita. Taulukkoon on merkitty myös päätelaitteen tyyppi ja koko. Suluissa tilan nimen perässä on esitetty suunnitelmien mukainen ilmavirta (l/s).

Taulukko 1. Tilojen päätelaitteet (11.)

Tila (ilmavirta)	Tuloilmaventtiili	Poistoilmaventtiili
Asuinhuone (+6 l/s)	KTS-125, Fläkt Woods Oy	
Ruokailutila/Olohuone (+12 l/s)	OKI-125, RC-Linja	
Keittiö (-19 l/s)		KSO-125, Fläkt Woods Oy
Sauna (+6 l/s & -6 l/s)	KTS-100, Fläkt Woods Oy	KSO-S-100, Fläkt Woods Oy
Pesuhuone, alakerta (-20 l/s)		KSO-125, Fläkt Woods Oy
Eteinen (+5 l/s & -6 l/s)	KTS-100, Fläkt Woods Oy	KSO-100, Fläkt Woods Oy
Varasto (+5 l/s & -6 l/s)	KTS-100, Fläkt Woods Oy	KSO-100, Fläkt Woods Oy
Aula (+6 l/s)	OKI-100, RC-Linja	
Kylpyhuone, yläkerta (-20 l/s)		KSO-125, Fläkt Woods Oy
Makuuhuone (+12 l/s & +12 l/s)	KTS-125, Fläkt Woods Oy OKI-125, RC-Linja	

Yläkerran makuuhuoneessa on kaksi tuloilmaventtiiliä siksi, että huone on mahdollista jakaa kahdeksi erilliseksi huoneeksi. Tällöin molempiin huoneisiin jää oma tuloilmaventtiili.

Kanavat on asennettu pääasiassa alakerran alakattoon. Yläkertaan ja vesikatolle kanavat nousevat toisen kerroksen makuuhuoneen nurkassa olevassa hormissa. Alakerran asuinhuoneeseen tuleva tuloilmakanava on asennettu katon eristekerrokseen, sillä olohuoneessa on vino alakatto, joka ei mahdollista kanavien sijoittamista. Vesikaton kautta viedään kanava myös yläkerran makuuhuoneen toiselle tuloilmaventtiilille. Ilmanvaihtokoneelta lähtevä jäteilma johdetaan hormia pitkin vesikatolle, jossa on ulospuhallushajottaja ilman ulospuhallusta varten. (11.)

Vesikatolle on sijoitettu myös keittiön liesikuvun vaatima huippuimuri (P3) sekä huippuimurin ääntä poistavat äänenvaimentimet. Toinen vesikatolla oleva huippuimuri (P4) hoitaa alapohjan tuuletusta.

3.4 Kuntotarkastus

Kiinteistölle tehtiin projektin alkuvaiheessa kuntotarkastus, jonka teki Insinööritoimistö Raksystems Anticimex Oy 25.8.2011. Kuntotarkastuksen tarkoituksena oli selvittää rakennuksen sen hetkinen kunto ja mahdolliset ongelmakohdat. Kartoituksessa ei havaittu suuria puutteita. Oleellisimpina havaintoina olivat vesikaton pinnoitteessa olevien vaurioiden korjaaminen sekä lisätutkimusten suorittaminen rakennusten salaojien olemassaolon selvittämiseksi sekä ullakotilojen ja yläpohjan tarkastaminen. (12.) Kuntotarkastusraportin oleelliset havainnot ja yhteenveto on liitteenä 4.

4 Tilanne ennen remonttia

Rakennuksen energiankulutusta ennen remonttia pyrittiin kartoittamaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisella laskennalla. Asunnon omistajan antamat kulutuslukemat sähkön ja veden osalta antoivat suuntaa oikean energiankulutuksen laskemiseen. Tiedot rakenteiden lämpöteknisistä ominaisuuksista poimittiin rakennuksen rakennesuunnitelmista.

4.1 Mittaukset

Kohteessa mitattiin keskeiset, joita energian kulutuksen laskemiseen tarvitaan. Samoin tarkoituksena oli selvittää asunnon sisäilman laatua ja asuinolosuhteita. Osa mittauksista suoritettiin kertamittauksina ja osa seurantamittauksia. Mittaukset tehtiin EEMontti-hankkeeseen laadittuun mittaussuunnitelmaan perustuen. Mittaussuunnitelma on liitteenä 5.

4.1.1 Seurantamittaukset

Kohteessa mitattiin seuraavat asiat seurantamittauksella:

- ulkoilman lämpötila
- sisäilman lämpötila olohuoneessa
- sisäilman hiilidioksidi ja kosteus olohuoneessa.

Sisäilmaa mittaava mittalaitteisto oli sijoitettu olohuoneen nurkkaan, sohvan viereen (kuva 8). Se valikoitui paikaksi keskeisen sijaintinsa vuoksi sekä siksi, että olohuone, keittiö ja ruokailutila ovat yhtä avointa tilaa, jossa oleskellaan paljon. Ulkoilman lämpötilan mittalaitteisto oli sijoitettu autokatokseen lipan alle. Sisäilman lämpötila-anturit oli aseteltu kolmeen eri korkeuteen lämpötilakerrostuman selvittämiseksi. Kuva mittalaitteiden sijoituspaikasta on esitetty liitteessä 6. Seurantamittaukset tehtiin 9.–14.12.2011.



Kuva 8. Sisäilmaston mittalaitteet

Ulko- ja sisäilman lämpötiloja seurattiin, jotta voitiin arvioida keskimääräinen sisäilman lämpötila sekä tarkkailla sen muuttumista ulkolämpötilan muuttuessa. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ja kosteuden mittaamisella voitiin seurata sisäilman laatua mittaajaksolla. Liian korkea hiilidioksidipitoisuus ei ole suotavaa ihmisen terveyden kannalta.

Seurantamittauksissa mittalaitteet säädettiin mittaamaan haluttua suuretta halutuun väliajoin ja mittalaite tallensi tiedon muistiinsa. Mittausdata purettiin mittalaitteesta tietokoneelle.

4.1.2 Kertamittaukset

Kertamittaukset suoritettiin 9.12.2011. Kertamittauksena mitattiin seuraavat asiat:

- lattian pintalämpötilat

- ulkoseinien pintalämpötilat
- tulo- ja poistoilmavirrat
- rakennuksen tiiviys
- tuloilman lämpötila.

Lattian pintalämpötilat mitattiin lattiasta infrapunalämpömittarilla. Mittapisteen valittiin lattian pinta-alan mukaan, mutta useimmissa tiloissa lämpötilat mitattiin 9 pisteestä. Pintalämpötilat mitattiin vain alakerrasta lattialämmityksen tasaisuuden ja toimivuuden seuraamiseksi.

Ulkoseinien pintalämpötilat mitattiin niin ikään infrapunalämpömittarilla osoittamalla. Mittauksen tarkoituksena oli selvittää seinien lämpötilaindeksit. Lämpötilaindeksi on arvo, joka kuvaa seinän lämpötekniestä toimivuutta. Mittaukset suoritettiin standardin SFS-5511 (Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset) ohjeistuksen mukaisesti.

Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat mitattiin, jotta laskelmissa voitiin käyttää todellisia arvoja. Samalla mitattuja arvoja verrattiin suunnitelmissa esitettyihin arvoihin. Mittaukset suoritettiin valmistajien ohjeiden mukaisesti. Mittauksissa jokaisen venttiilin ja tilan välinen paine-ero mitattiin. Samalla määritetään venttiilin avauma, eli mitattiin, kuinka paljon venttiili on auki. Fläkt Woods Oy:n venttiileissä avauma mitattiin erillisellä työkalulla ja RC-Linjan valmistamista OKI-venttiileistä tarkastettiin, kuinka monta reikäriviä venttiilistä on suljettu. Venttiilien avaumaa vastaa k-arvo, joka saatiin valmistajan esitteessä (kuva 9). K-arvo on kerroin, joka on määritelty vastaamaan avaumaa tai reikärivien lukumäärää. K-arvo on venttiilikohmainen, ja siihen vaikuttaa myös venttiilin koko. Kun paine-ero on mitattu ja k-arvo määritetty, voidaan venttiilin ilmavirta laskea alla olevalla kaavalla 1 (13, s.1.).

$$q = k \times \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

q on ilmavirta, l/s

k on k-kerroin

Δp on paine-ero, Pa

KSO-100		KSO-125	
a	k	a	k
-15	0,5	-10	1,5
-12	0,8	-5	2,1
-10	1,0	0	2,7
-5	1,4	5	3,3
0	1,9	10	4,0
5	2,3		
10	2,8		

Kuva 9. Esimerkki venttiileiden avaumista ja k-arvoista (Fläkt Woods Oy)

Mittaukset suoritettiin ilmanvaihtokoneen nopeuksilla 1-4. Tuloilman lämpötila mitattiin lämpötilamittarilla suoraan tuloilmaventtiilin edestä.

Rakennuksen tiiviysmittaus suoritettiin mittauslaitteistolla, johon kuuluu puhaltimen lisäksi paine-eromittausjärjestelmä. Olohuoneesta pihalle johtavaan oveen asennettiin puhallin erityiseen asennuskehikkoon, joka peitti koko oven pinta-alan. Rakennuksen sisä- ja ulkopuolelle asetettiin paine-eromittausjärjestelmän anturit. Puhallin kehitti rakennukseen alipaineen. Mittalaitteisto määritteli rakennuksen vuotoilmavirran painemittauksen perusteella, kun siihen oli määritelty rakennuksen ilmatilavuus. Tiiviysmittauksen pöytäkirja on liitteenä 7. Tiiviysmittauksen tarkoitus oli selvittää todellinen ilmatiiviys laskelmia varten.

4.1.3 Mittalaitteisto

Seurantamittauksissa käytettiin mittalaitteita, jotka tallentavat tietoa asetetuin aikavälein. Tällaisia mittalaitteita kutsutaan loggereiksi. Seurantamittauksissa käytettiin kolmea erityyppistä tiedonkeruulaitetta eli dataloggeria. Olohuoneen lämpötilaa seurattiin Eltek Squirrel -dataloggerilla, ulkolämpötilan seurantaan käytettiin Escort-dataloggeria ja olohuoneen hiilidioksidia ja kosteutta seurattiin TSI IAQ-Calc 7525 -mittarilla.

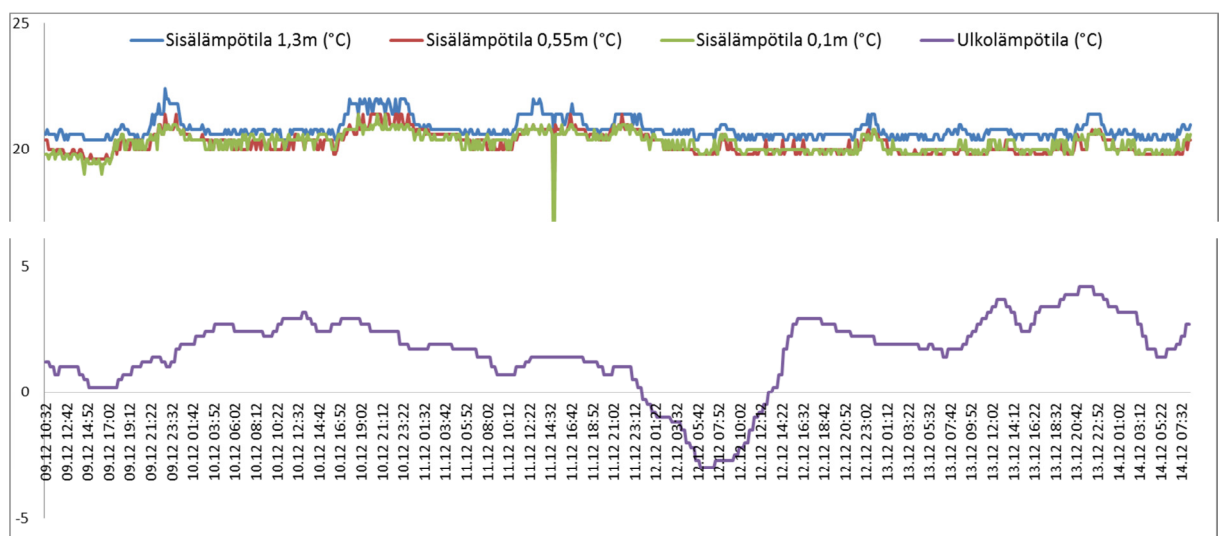
Ilmavirtojen määrittämiseen tarvittava paine-eromittari oli TSI VelociCalc 8386, jolla mitattiin myös tuloilman lämpötila. Lattian ja seinien pintalämpötilat mitattiin infrapunalämpömittarilla, Sentry ST 653. Tiiviysmittauksessa käytettiin Minneapolis Model 4 Blower Door -laitteistoa.

4.2 Mittaustulokset

Tässä luvussa esitetään mittaustulokset, niiden analysointi sekä mahdollinen muunnos laskelmissa käytettävään muotoon. Joidenkin mittausten tuloksia ei voida suoraan hyödyntää laskennassa, vaan mittaustuloksia on muokattava.

4.2.1 Seurantamittaukset

Sisä- ja ulkoilman lämpötilamittauksista saatiin selvitettyä keskimääräisen sisäilman lämpötilan, jota käytetään laskennassa. Keskimääräiseksi sisäilman lämpötilaksi mittausjaksolla saatiin 21,0 °C.



Kuva 10. Otos sisä- ja ulkolämpötiloista

Lämmitysjärjestelmän todettiin toimivan hyvin, sillä sisälämpötila pysyi koko mittausajanjakson riittävän vaihteluvälin sisäpuolella (kuva 10). Sisälämpötilojen vaihtelu mittausjaksolla oli suurimmillaan noin 3 °C. Vaihtelu ei ole suurta ja matalimmat ja korkeimmat arvot olivat suhteellisen lyhytaikaisia, jolloin lämmitysjärjestelmän

toimintaa voidaan pitää hyvänä. Toki on huomioitava, ettei ulkoilman lämpötila alittanut missään vaiheessa $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kuvaaja sisä- ja ulkolämpötiloista on esitetty liitteessä 8.

Sisäilman laatu määriteltiin Sisäilmayhdistyksen sisäilmastoluokituksen mukaisesti. Tavoitetasona pidettiin sisäilmastoluokkaa S2, joka tarkoittaa hyvää sisäilmastoa. Taulukossa 2 on esitetty sisäilmastoluokituksen vaatimukset mitatuille suureille.

Taulukko 2. Sisäilmastoluokkakriteerit (15, s. 5–6).

	S1	S2	S3
Lämpötila talvella ($^{\circ}\text{C}$)	21–22	20–22	20–23
Hiilidioksidipitoisuus (ppm)	700	900	1200
Kosteus talviaikana (%RH)	25–45	ei ilm.	ei ilm.

Rakennuksen sisäilmaluokka täyttää luokituksen S2 vaatimukset. Hiilidioksidi ei missään vaiheessa ylitä arvoa 900 ppm. Kosteus pysyi välillä 25–40 % koko ajan. On kuitenkin huomioitava mittausajankohdan ulkoilman lämpötila, jolloin ei ollut kovinkaan kylmää. Asukkaat käyttävät ilmanvaihtoa nopeudella 2, kun suunnitelmissa normaalitilanteen nopeudeksi on määritelty 3. Kuvaaja olohuoneen hiilidioksidi- sekä kosteuspitoisuudesta on esitetty liitteessä 9.

4.2.2 Lattian pintalämpötilat

Lattian pintalämpötilan mittauksella selvitettiin lattialämmityksen toimintaa asuintiloissa. Mittausten perusteella oli lattian pintalämpötilat riittävät, mutta niiden vaihtelu oli paikoittain suurta. Osittain suurempaa lämpötilaa selittää se, että putkistot on sijoitettu tiiviimmin. Näin selittyy porrassseinustan korkeampi lämpötila muihin verrattuna. Siinä kulkee kahdessa kerroksessa putkia, sillä makuuhuoneeseen kulkevat putket ja olohuoneen putket ovat siinä kohdassa päällekkäin. Lattian mitatut pintalämpötilat on esitetty liitteessä 10.

4.2.3 Ulkoseinien pintalämpötilat

Ulkoseinien pintalämpötilojen avulla selvitettiin rakennuksen ulkoseinien lämpötekniinen toimivuus. Ulkoseinien pintalämpötiloista laskettiin keskiarvo, jota käytettiin lämpötilaindeksin määrittämiseen. Lämpötilaindeksi lasketaan kaavan 2 mukaan.

$$TI = \frac{T_{sp} - T_o}{T_i - T_o} \times 100\% \quad (2)$$

TI on lämpötilaindeksi, %

T_{sp} on sisäpinnan lämpötila, °C

T_i on sisäilman lämpötila, °C

T_o on ulkoilman lämpötila, °C

Asumisterveysohje määrittelee seinälle välttävän tason lämpöindeksiksi ≥81 % ja hyvän tason ≥87 %. Taulukossa 3 on esitetty mitattujen seinien lämpötilojen keskiarvot sekä niille lasketut lämpöindeksit. Välttävän tason alle jäi vain keittiön ikkunaseinä, jossa pintalämpötila-arvot viittaavat siihen, että ikkunan tiivisteissä saattavat olla huonossa kunnossa. Muuten arvot läpäisevät välttävän tason. (15, s. 11–13.) Liitteessä 11 on esitetty mitattujen seinien sijainnit.

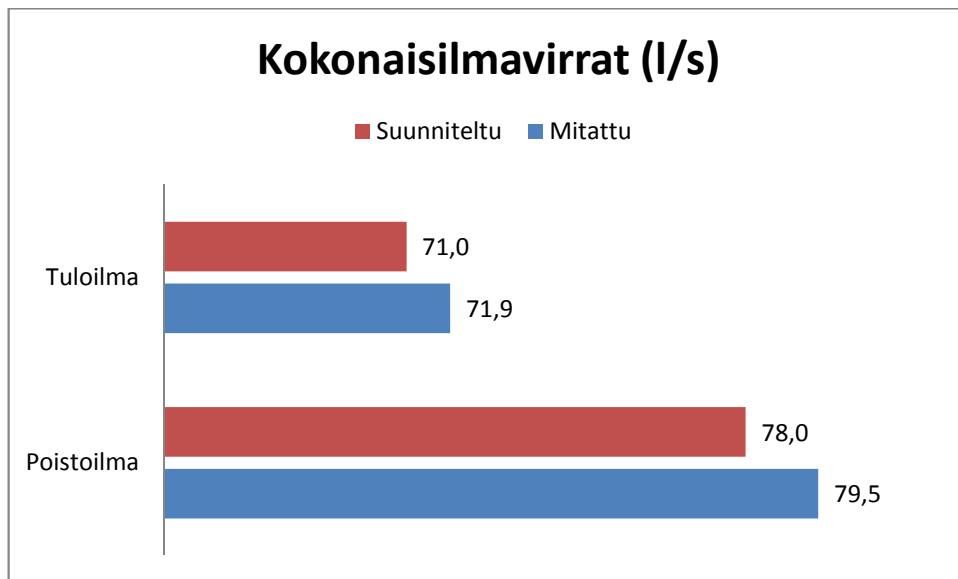
Taulukko 3. Lasketut lämpötilaindeksit

	Seinä 1		Seinä 2		Seinä 3		Sisält.	Ulkolt.
	%	°C	%	°C	%	°C	°C	°C
Ruok+Oh	85,8	19,6	84,7	19,4	86,7	19,8	22,7	1,1
Keittiö	79,7	18,3	84	19,2			22,7	1,1
AH	93,5	19,2	91,9	18,9	88,8	18,3	20,5	1,1
MH2	87,1	19,4	86	19,4	84,4	18,8	22,1	1,1
Aula	86	19,7	85,8	19,6			22,7	1,1

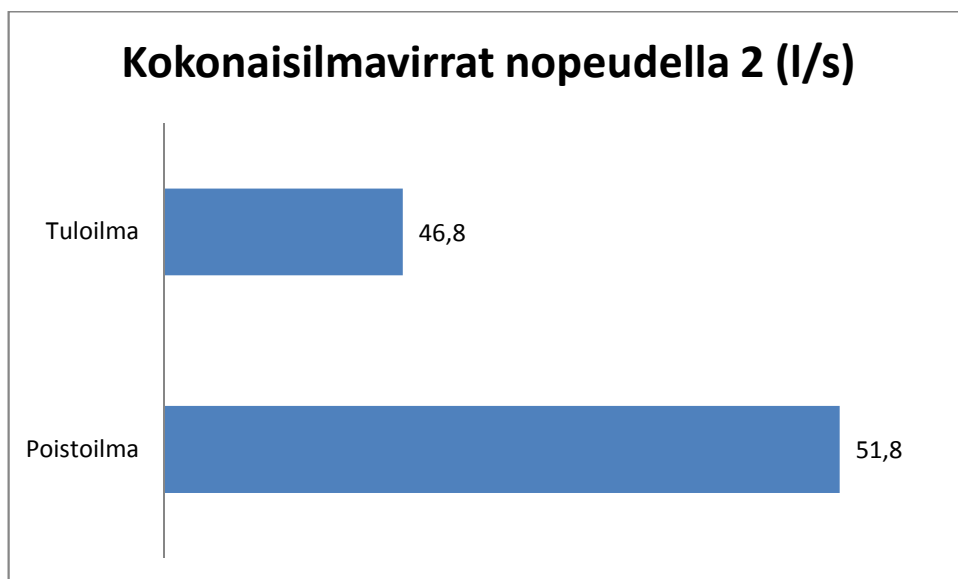
4.2.4 Tulo- ja poistoilmavirrat

Tulo- ja poistoilmavirrat mitattiin suoraan päätelaitteista valmistajan ohjeiden mukaisesti. Ilmavirrat ovat mittaustarkkuuden puitteissa hyvinkin lähellä suunnitelmien mukaisia ilmavirtoja. Suunnitelmissa ilmanvaihdon käyttöajan nopeudeksi on määritelty puhallinnopeus 3, mutta asukkaat käyttävät nopeutta 2. Nopeus 2 on kuitenkin riittävä, huomioiden asukkaiden määrän. Suunnitelmissa asukkaiden määrän on oletettu olevan

suurempi. Kuvassa 11 on esitetty mitatut kokonaisilmavirrat sekä suunnitteluilmavirrat nopeudella 3 ja kuvassa 12 mitatut kokonaisilmavirrat nopeudella 2.



Kuva 11. Kokonaisilmavirrat nopeudella 3



Kuva 12. Kokonaisilmavirrat nopeudella 2

Liitteessä 12 on esitetty mitatut sekä suunnitelmien mukaiset ilmavirrat päätelaitekohtaisesti.

4.2.5 Rakennuksen tiiviys

Tiiviysmittaus osoittaa rakennuksen tiiveyden. Kohteen todettiin olevan huomattavasti odotettua tiiviimpi. Rakennuksen ilmanpitävyyttä kuvaa n_{50} -luku, joka ilmoittaa rakennuksen vaipan läpi vuotavan ilmavirran, kun paine-ero on 50 Pa. Luku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuuden veraan ilmaa vuotaa rakennuksen vaipan läpi tunnissa. Se ei kerro normaalitilanteen ilmavuotoa, silloin usein paine-ero on paljon pienempi, mutta lukua käytetään laskelmissa ilmavuotojen laskentaan. Rakennuksen n_{50} -luvuksi mitattiin 0,53 l/h.

4.2.6 Tuloilman lämpötila

Tuloilman lämpötila mitattiin tuloilmalaitteen ulkopuolelta tuloilmavirrasta. Tuloilman lämpötilaksi mitattiin 24,0 °C, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että rakennusta lämmitetään osittain tuloilmalla. Lämmitysteknisesti on tehokkaampaa lämmittää ilmaa muilla keinoin, sillä laitteistoa ei ole suunniteltu lämmittämiseen.

4.3 Energialaskelmat

Rakennuksesta suoritettiin energiankulutuslaskelmat kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa, kun asunnon pohjapiirros, rakennetyypit ja LVI-järjestelmät olivat pääosin tiedossa, suoritettiin laskelmat soveltuvien osien Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 taulukkoarvojen mukaisesti. Toisen vaiheen laskelmat suoritettiin yllä kuvatuista mittauksista saatujen mittaustulosten perusteella. Tällä tavoin voi myös vertailla, kuinka hyvin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukkoarvot sopivat tämän tyyppiseen rakennukseen.

Laskennassa hyödynnettiin Helsingin Rakennusvalvontaviraston energiaselvitysten tekemiseen tarkoitettua Excel-tilukkolaskentaohjelmaan tehtyä laskinta (ver. 05.04.2011). Laskin laskee energiatodistukseen tarvittavat tiedot annettujen lähtöarvojen pohjalta.

4.3.1 Laskennan kulku

Käytetty laskin laskee energiankulutuksen siihen syötettyjen arvojen perusteella. Laskenta noudattaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D5, ja siinä käytetyt nimikkeet ovat myös samoja.

Laskimen kohde-välilehdelle syötetään rakennuksen osoite- yms. tietoja, jotka tulostuvat laskimesta saatavaan energiatodistukseen.

Laskimen lämpöhäviöt-välilehdelle syötettiin rakennuksen laajuustietoja sekä rakennusosien tietoja. Laajuustiedot käsittävät mm. rakennuksen pinta-alan, ilmatilavuuden, kerrosalan sekä kerros- ja huonekorkeudet. Rakennusosien tietoihin syötettiin niiden pinta-alat sekä U-arvot. Näiden kohtien arvot saatiin rakennuksen piirustuksista laskemalla. Samalle välilehdelle syötettiin rakennuksen vuotoilman laskennassa käytetty ilmanvuotoluku.

RAK-LVIS-lähtötiedot-välilehdelle syötetään tietoa rakenteista, rakennuksesta sekä LVIS-järjestelmistä. Välilehdelle syötetään mm. rakennuksen brutto-ala, rakenteiden lämpökapasiteetti, sisälämpötila, maan lämpötila sekä henkilöiden luovuttama ominaislämpöenergia. Lisäksi syötetään tiedot ikkunoiden pinta-alasta ilmasuunnittain ja niihin liittyvistä kertoimista. Välilehdellä on myös kohdat eri järjestelmien lähtöarvoille. Lämmitysjärjestelmästä syötetään hyötysuhteita sekä ominaisenergioita häviöiden ja ilmaisenergioiden määrittämistä varten. Käyttöveden lämmityksen laskemista varten välilehdelle syötetään kulutustietoja, lämpötiloja sekä ominaisenergioita häviöiden ja ilmaisenergioiden laskemiseksi. Sähköjärjestelmille syötetään eri tunnusluvut niille varattuihin kohtiin. Ilmanvaihtojärjestelmille erilaiset konetyypit lämpimille ja puolilämpimille tiloille. Kohtaan syötettiin rakennuksen ilmanvaihtokoneen tiedoista ilmavirrat, puhaltimen ottamat tehot, käyttöajat siihen liittyvine kertoimineen sekä hyötysuhteet. Alapohjan tuuletuksen sekä liesituulettimen poistoilmapuhaltimet lisättiin myös omiin kohtiinsa.

Kun yllä mainitut tiedot on syötetty laskimeen, on sille annettu kaikki tarvittava tieto. Laskin laskee energiankulutuksen Helsingissä sekä Jyväskylässä paikallisten sääolosuhteiden mukaisesti, jotta se pystyy laatimaan Jyväskylään suhteutetun energialaskennan. Lisäksi laskin esittää energiankulutuksen ja lämmitystehon jakaumia

muutamin eri tavoin. Kohdekiinteistön energiankulutusarvot on poimittu laskimen Helsinki-välilehdeltä, joka laskee energiankulutuksen Helsingin ilmasto-olosuhteissa. Olosuhteet Vantaalla ovat samat.

4.3.2 Ensimmäisen vaiheen energialaskenta

Ensimmäisen vaiheen energiankulutuslaskelmia tehdessä tiedossa olivat seuraavat asiat:

- rakennuksen pinta-aratiedot
- rakennetyypit
- LVI-järjestelmien perustiedot.

Kaikki muut laskennassa käytetyt arvot poimittiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 vakioarvoista niillä tiedoilla, joita oli käytettävissä.

Vaipan ilmanvuotoluku valittiin RakMK D5:n kohdan 4.2.2 mukaisesti. Ilmanvaihtoluvuksi asetettiin 4 1/h. Rakennuksen teholliseksi lämpökapasiteetiksi valittiin pientalojen keskiraskasta rakennetta vastaava arvo 70 Wh/(brm²K). Sisälämpötilaksi oletettiin 21 °C. Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero $\Delta t_{\text{maa, vuosi}}$ valittiin D5:n taulukon 4.1 mukaan. Maalajin oletettiin olevan salaojitettua hiekkaa ja soraa, jolloin alapohjan U-arvon ollessa alle 0,2 W/m²K, lämpötilaksi saadaan 5 °C. Tarkasteltavien asuntojen määrän tiedettiin olevan 1. Henkilöiden luovuttaman vuotuisen lämpöenergian arvoksi pientalossa valittiin taulukon 8.1 mukainen arvo 8 kWh/brm².

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergian laskentaa varten taulukkoon syötettiin arkkitehtikuvista lasketut pinta-arat ilmansuunnittain sekä ikkunoiden U-arvot. Ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykertoimeksi $g_{\text{kohtisuora}}$ valittiin taulukosta 8.4 arvo 0,55. Se on ikkunan kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin kun U-arvo on välillä 1,0-1,4. Säteilyn läpäisyn laskentaan tarvittava kehäkerroin $F_{\text{kehä}}$ valittiin kohdan 8.4.4 mukaisesti arvoksi 0,75. Koska ikkunat olivat eri kokoisia, vastaa arvo 0,75 hyvin niiden keskiarvoa. Ympäristön sekä ylä- ja sivuvarjostusten korjauskertoimiksi asetettiin arvo

1,0, sillä rakennuksen sijainnin ja muodon mukaiset varjostukset ovat erittäin pieniä. Verhokertoimet valittiin joka kuukaudelle erikseen. Tarkempaa tietoa käytettävistä verhoista ei ollut, joten loka-huhtikuulla ei oletettu olevan käytössä minkäänlaisia verhoja (verhokerroin 1) ja touko-syyskuussa käytössä oletettiin olevan lasien välissä olevat sälekaihtimet (verhokerroin 0,6).

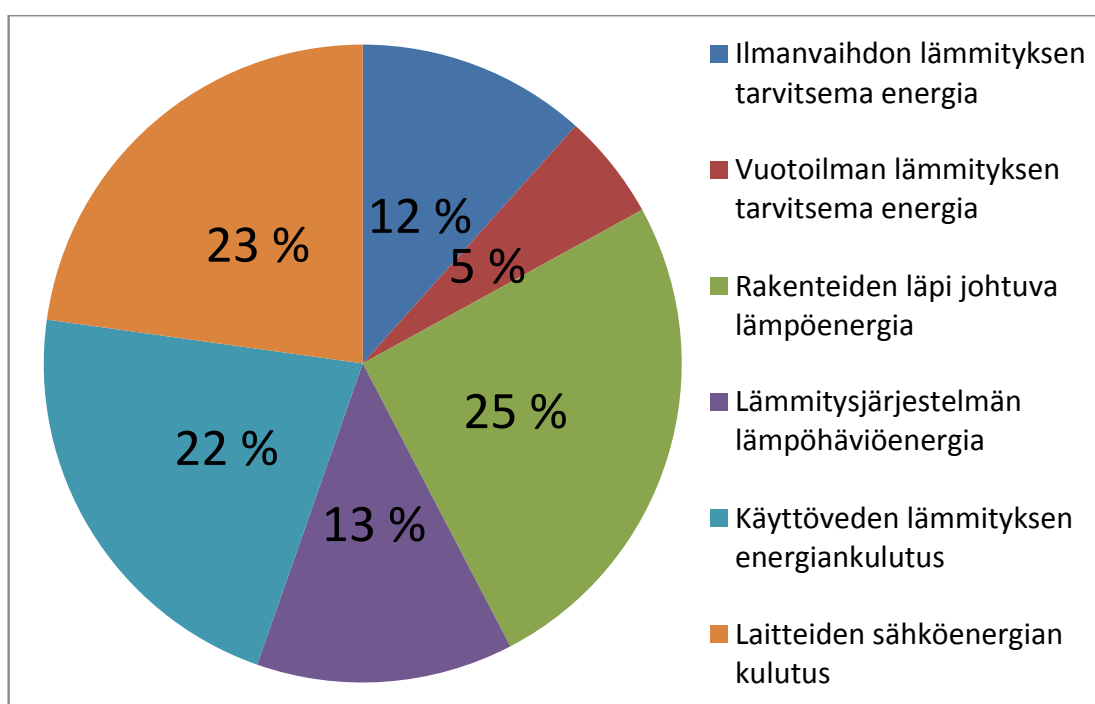
Lämmitysjärjestelmän toiminta tiedettiin piirustuksista nähdystä ratkaisusta. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergioiden laskentaan syötettiin valitut arvot taulukosta 6.1. Luovutushäviöiden ominaislämpöhäviöksi valittiin arvo 10 kWh/brm² ja säätöhäviöiden 4 kWh/brm² vuodessa. Ne vastaavat Legalett-lattialämmitysjärjestelmää, kun alapohja on hyvin eristetty. Huonelämmityksen, tuloilman ja lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet valittiin kohdan 9.1.2 mukaisesti. Koko lämmitysjärjestelmän hyötysuhde syötetään kohdassa sähköjärjestelmä.

Käyttöveden lämmitysjärjestelmää koskeisiin tietoihin syötettiin yhden henkilön vuorokautiseksi lämpimän veden kulutukseksi $V_{lkv,omin}$ 50 dm³/henk, joka vastaa rakennusta missä on huoneistokohtainen vedenmittaus ja laskutus. Arvo poimittiin taulukosta 5.1. Henkilömääräksi oletettiin 4 rakennuksen koon perusteella. Käyttöveden lämmityksen tarvitseman tehon laskentaa varten tarvittu lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama $q_{v,lv}$ laskettiin rakennuksen käyttövesijärjestelmän suunnitelman avulla ja arvoksi saatiin 0,36 dm³/s. Laskentaa varten summattiin kaikkien lämmintä vettä käyttävien kalusteiden lämpimän veden normivirtaamat ja katsottiin tätä lukua vastaava mitoitusvirtaama Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 2007 sivun 37 taulukosta 2. Kylmän ja lämpimän veden lämpötilat syötettiin siten, että lämpötilaeroksi saatiin kohdan 9.5.1 mukainen 50 °C. Koska lämpimällä vedellä oli oma lämmönkehityslaitte, laskettiin sille lämpöhäviöenergia. Kohdan 6.2.3 mukaan, jos tarkempaa tietoa laitteesta ei ole, tulee lämpöhäviöenergiaksi laskea 1000 kWh vuodessa. Käyttövesivaraajan lämpöhäviöteho määritettiin kuvan 6.2 avulla. Varaajatilavuuden tiedettiin olevan 200 litraa, jolloin kuvasta voitiin lukea lämpöhäviötehoksi 0,12 kW. Koska lämpimän veden vesijohdossa on saattolämmitys, oli sillekin arvioitava häviöenergiankulutus. Energia merkittiin kohtaan $Q_{lkv,kiertohäviöt,omin}$. Saattolämmityksen tehoksi arveltiin 60 W, ja häviöiden osuudeksi 40 %. Sen ollessa

koko ajan päällä, tulee vuodessa häviöenergiaksi n. 210 kWh, joka vastaa syötettävää arvoa 1,8 kWh/brm².

Sähköjärjestelmä-kohtaan syötettiin järjestelmäkohtaiset ominaisenergiankulutusarvot taulukon 7.1 mukaan. Valaistukselle syötettiin 7 kWh/brm²/vuosi, ilmanvaihtojärjestelmälle 7 kWh/brm²/vuosi ja muille laitteille 36 kWh/brm²/vuosi. Sähkölämmityksen hyötysuhde valittiin taulukon 3.1 mukaan. Sähköntuottolaitteiden hyötysuhteeksi $\eta_{\text{sähkö}}$ valittiin 1,0 kohdan 3.1.3 mukaisesti.

Energialaskelman tuloksena saatiin koko vuoden energiankulutukseksi 30 160,1 kWh. Lukema vastaa energiatodistuksen mukaista Jyväskylään normeerattua ET-lukua 237. ET-luku on energiatehokkuusluku, joka määrittää rakennuksen energialuokan. ET-luku määritetään jakamalla laskennallinen energiantarverakennuksen bruttoalalla. Koska rakennus kokonaisuudessaan lämpee sähköllä, tarkoittaa energiankulutus myös sähköenergiankin kulutusta. Kuvassa 13 esitetty energiankulutuksen jakauma kuuteen pääkomponenttiin. Laskimen lähtötieto- ja tulossivut on esitetty liitteessä 13.



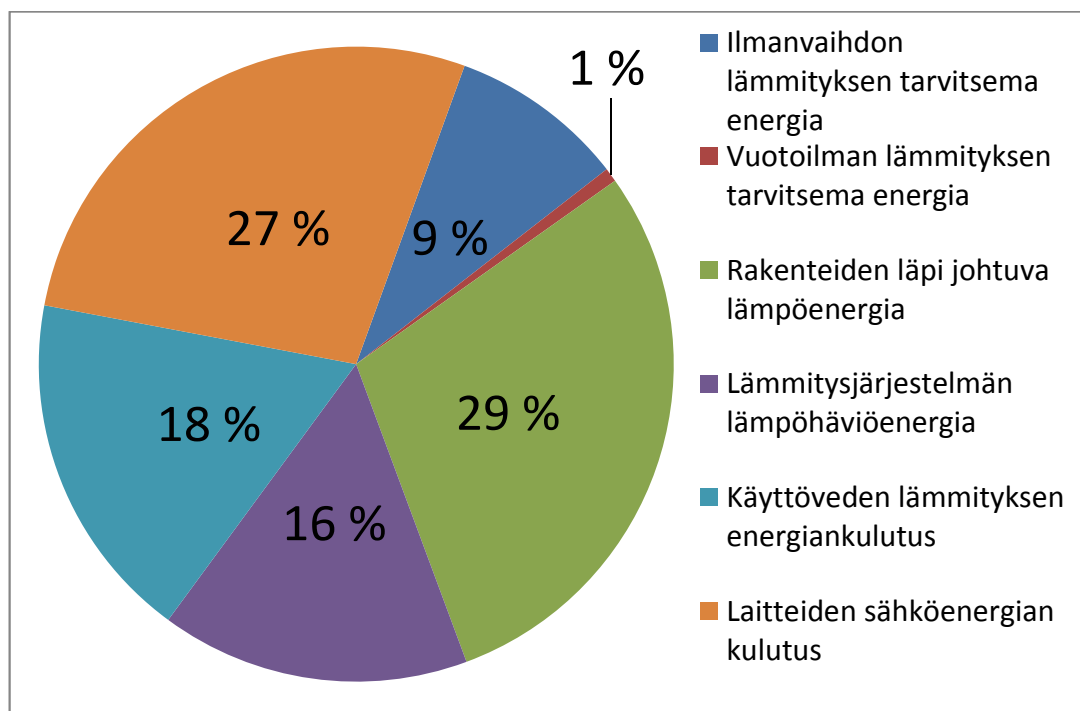
Kuva 13. Energiankulutuksen jakaumat

Kuten kuvasta 13 huomataan, on suurin osatekijä rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia. Sen lisäksi laitteiden ja käyttöveden kulutuksella on myös iso vaikutus.

4.3.3 Toisen vaiheen energialaskenta

Toisen vaiheen laskennassa ensimmäisen vaiheen laskentaa täydennettiin mittausten ja kohteessa käyntien perusteella tarkentuneilla tiedoilla. Suurimpia muuttuneita tekijöitä olivat asukasmäärän muutos 4 asukkaasta 2:een, ilmamäärien muuttaminen nopeuden 3 mukaisista nopeuden 2 mukaisiksi ja rakennuksen n_{50} -luvun muutos 4 1/h:sta arvoon 0,53 1/h.

Yllä mainituin tarkennetuin arvoin saatiin energiankulutukseksi 24 929,2 kWh. Energiatodistuksen ET-lukuna (energiatehokkuusluku) se vastaa lukemaa 194, joka kuuluu on lähellä D-luokan alarajaa. Lukema poikkeaa asukkaan ilmoittamasta sähköenergiankulutuksesta noin 2 000 kWh. Syynä tähän on se, että edelleen osa arvoista on vakioita, eikä todellisen käytön mukaisia. Lisäksi laskennassa käytetyt arvot ovat vakioituja arvoja, eivätkä vastaa todellisia edeltävän vuoden lämpötiloja. Mainittuja vakioarvoja ovat mm. sähkölaitteiden kulutus, johon asukkaan käyttötavoilla on vaikutusta. Toinen vaikuttava seikka on lämmöntalteenottokennon tehokkuus.



Kuva 14. Energiankulutuksen jakaumat toisessa vaiheessa

Mittaustulosten ja tarkemman järjestelmien tutkimisen seurauksena voidaan todeta vuotoilman, ilmanvaihdon lämmityksen ja käyttöveden kulutuksen osuuksien pienenneen. Energiankulutsujakaumat on esitetty tarkemmin kuvassa 14. Kaikissa pieneneminen johtuu mittausten mukaisesta pienemmästä arvosta kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 annettu arvo. Vastaavasti johtumisesta aiheutuva lämpöenergian kulutus ja laitteiden sähkönkulutus kasvattivat osuuksiaan, sillä niiden energiankulutus pysyi samana. Toisen vaiheen energialaskennan lähtötieto- ja tulossivut on esitetty liitteessä 14.

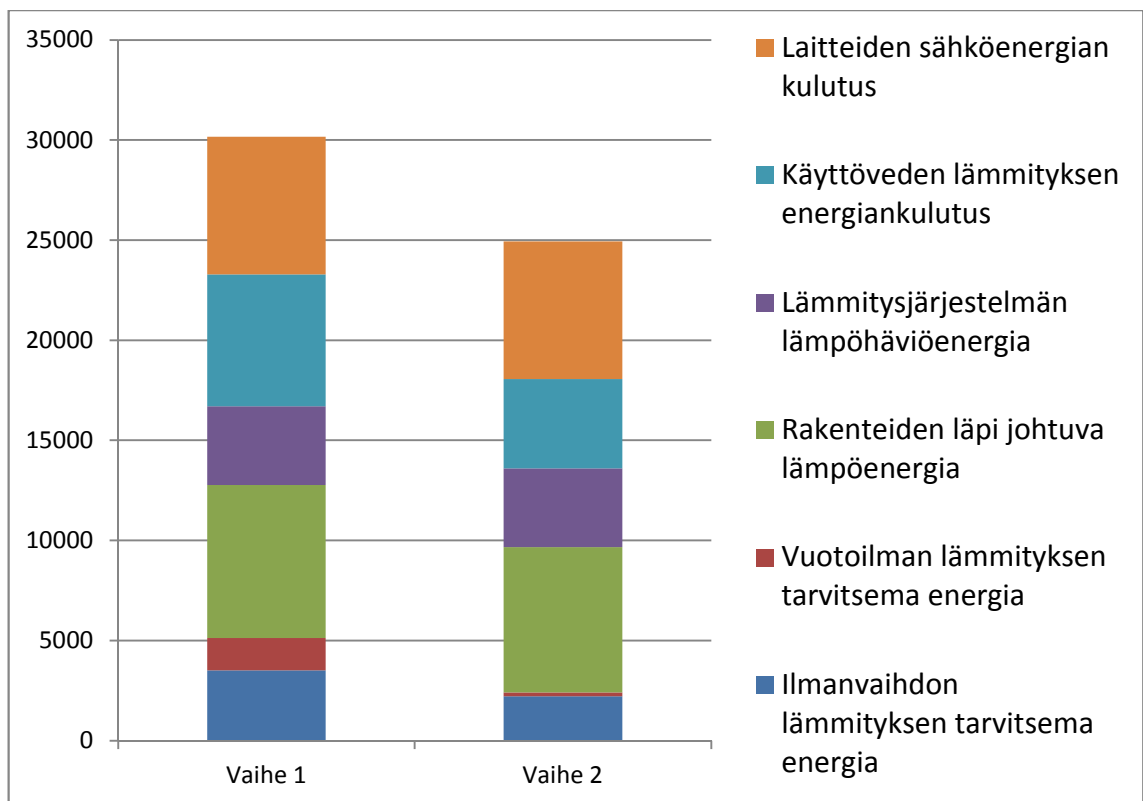
4.3.4 Vertailu

Kuten tuloksista huomaa, Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 vakioarvoissa on paljon epätarkkuutta. Vain rakennuksen pintapuolisella tarkastelulla ei voida saada tarkkaa kuvaa energiankulutuksesta, vaan järjestelmien ja rakennuksen tunteminen on edellytys tarkoille laskelmille.

Taulukko 4. Energiajakaumat

	Vaihe 1	Vaihe 2
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia (kWh)	6 848,8	4 565,9
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia (kWh)	3 161,0	367,1
Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia (kWh)	14 929,3	14 929,3
Sisäiset lämpökuormat (kWh)	12 167,4	10 192,3
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia (kWh)	3 925,0	3 925,0
Käyttöveden lämmityksen energiankulutus (kWh)	6 588,3	4459,1
Laitteiden sähköenergian kulutus (kWh)	6 875,0	6875,0
Energiankulutus yhteensä (kWh)	30 160,0	24 929,1

Taulukkoon 4 on kerätty eri järjestelmien kulutuksia ja sisäisten lämmönlähteiden tuottama lämpöenergia. Sisäiset lämpökuormat ovat lämmityksessä hyödynnettäviä, joten ne ”pienentävät” energiankulutusta. Muuttumattomina pysyvät laitteiden sähköenergian kulutus, lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia ja rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia. Suurimmat muutokset ovat vuotoilman ja käyttöveden lämmityksen tarvitsemat energiat. Syy käyttöveden lämmityksen energiantarpeen laskulle johtuu oletuksena käytetylle asukasmäärälle 4, kun heitä on 2. Vuotoilma pieneni oletuksesta huomattavasti mittaamalla. Oletusarvoinen n_{50} -luku oli 4 1/h, kun se mittauksilla määritettiin luvuksi 0,5 1/h.



Kuva 15. Energiankulutusvertailu

Sisäiset lämpökuormat koostuvat asunnon sisällä olevien laitteiden ja ihmisten tuottamasta lämpöenergiasta. Se huomioi myös auringon säteilyn lämmittävän vaikutuksen. Sisäiset lämpökuormat pieneni, kun tarkensimme ihmisten luovuttaman lämpöenergian määrää sekä lämmityslaitteiden toimintaa. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia on energiaa, joka menee häviöinä hukkaan.

Kun kaikki pienet tarkennukset huomioidaan, tuli erotukseksi kuitenkin n. 5 000 kWh. Kuvassa 15 on esitetty energiankulutuksen jakaumat, johon on huomioitu sisäisten lämpökuormien vaikutus. Näin ollen voidaan todeta, että rakennuksen ja sen järjestelmien tunteminen on tärkeää tarkkaa energiankulutuslaskentaa tehtäessä. Myös asukkaan tottumukset vaikuttavat suuresti, joka näkyy veden lämmittämiseen kohdistuvan energian pienenemisenä.

5 Kiinteistöön tehdyt tarjoukset

Määräaikaan mennessä kohteeseen jätettiin kaksi ehdot täyttävää tarjousta eri palveluntarjoajilta (Senera ja Pistoke Oy). EEMontti-hankkeen asiantuntijaraati kävi tarjoukset läpi ja arvioi ne. Tarjouksille laadittiin myös yhdenmukaiset investointilaskelmat niiden taloudellisten säästöjen arvioimiseksi. Laskennan suoritti Green Net Finland seuraavilla lähtöarvoilla (16):

- ostoenergian hinta 12,5 c/kWh
- energian hinnan nousu 3 %
- inflaatio 3 %
- nimelliskorko 4 %.

Laskentoihin poimittiin myös tietoja esitetyistä tarjouksista ja arvioitiin mahdollisen kotitalousvähennyksen suuruus.

Tarjousten pisteyttämiseen raadilla oli arviontikriteerit, joilla oli alla olevan taulukon 5 mukainen painoarvo (%).

Taulukko 5. Kriteerit ja painoarvot (17)

Kriteeri	Painoarvo	Pisteytys
Taloudellisuus	50 %	0–5
Tekninen laatu	25 %	0–5
Ratkaisun innovatiivisuus	5 %	0–5
Monistettavuus	5 %	0–5
Helppokäyttöisyys	5 %	0–5
Ratkaisun takuuehdot	5 %	0–5
Referenssit	5 %	0–5
Yhteensä	100 %	

Kriteereistä taloudellisuus on ylivoimaisesti tärkein. Taloudellisuuden arvioinnissa käytettiin tehtyjä investointilaskelmia. Tekninen laatu arvioitiin saavutettuna sisäilmasto-olosuhteena ja ottamalla huomioon asennustekninen laatu (16).

5.1 Voittajaratkaisu

Raati valitsi voittajaksi Seneran ratkaisun. Ratkaisussa lämmöntuottotapana on maalämpöjärjestelmä. Lämmönjako tapahtuu vanhaa Legalett-lattialämmitystä hyödyntämällä, mutta sen sähkövastuksilla toimiva puhallinyksikkö korvataan vesipatterilla varustetulla mallilla. Olemassa olevan ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmityspatteri esitettiin korvattavaksi vesikiertoisella patterilla. Maalämpöpumpun optimaalista toimintaa varten Legalett-puhallinyksikölle menevän veden lämpötila säädetään 45 asteeseen. Tällöin sen heikompi lämmitysteho kompensoidaan lämpimämmällä tuloilmalla. (16, s. 18.)

Tarjouksessa lämmönkehittimenä on IVT Premiumline EQ C6 -maalämpöpumppu. Sitä varten porataan 125 m syvä lämpökaivo, jossa on yhteensä 250 m lämmönkeruuputkistoa. (16, s. 18)

Tarjouksien vertailua varten suoritettiin investointilaskelma edellä mainituin tiedoin. Alla on esitetty laskelma raadin arviointiin käyttämässä muodossa. Laskelman on laatinut Green Net Finland. (16.)

Taulukko 6. Arviointilaskelma (17)

Investoinnin suuruus (€)	18 982
Kotitalousvähennys 2011 (€)	3 965
Investointituki (€)	2 454
Nettoinvestointi (€)	12 563
Ostetun energian hinta (€/kWh)	0,125
Energian hinnan nousu	3,00 %
Inflaatio	3,00 %
KULUTUSTIEDOT (vuosittaiset)	
Ostoenergian määrä nyt (kWh)	23 000
Energiakulut nyt (€)	2 875
Ratkaisulla saavutettu arvioitu säästö	60 %
Energiankulutus ratkaisulla (kWh)	9 700
Energiakulut ratkaisulla (€)	1 212,5
Saavutetut säästöt (kWh)	13 300
Saavutetut säästöt €	1 662,5
Sijoitetun pääoman tuotto	13,23 %
Korollinen (4 %) takaisinmaksuaika	n. 8 v.

Taulukon mukaisesti Green Net Finland mainitsee investoinnin takaisinmaksuajan olevan n. 8 vuotta, kun nimelliskorkona on käytetty 4 %:a. Laskelmissa ei ole huomioitu kiinteistön arvon nousua. (16, s. 19.)

Raati piti ratkaisun taloudellisuutta erinomaisena. Se saavutti lisäksi kaikki kilpailulle asetetut kriteerit, ja sen teknistä laatua pidettiin hyvänä. Koska Legalett-lattialämmityksen lämpötilatasoa alennetaan, pienentää se lattian epätasaisen lämmön ongelmaa. Toisaalta ratkaisu ei poista yläkerran makuuhuoneen yllilämpenemistä. Ratkaisua pidettiin myös helposti monistettavana vastaavanlaisiin kiinteistöihin ja sitä pidettiin helppokäyttöisenä. Lisäksi takuuehtojen ja Seneran referenssien mainittiin olevan hyvät. (16, s. 19.)

Parannusehdotuksena Seneran tarjoukseen raati mainitsee, että yläkerran yllilämpöongelman ratkaisemiseksi sinne voi asentaa ilmalämpöpumpun, jolla yläkerta voi tarvittaessa jäähdyttää. (17, s. 20.)

Taulukko 7. Pisteytys (16)

Kriteeri	Pisteytys
Taloudellisuus	5
Tekninen laatu	4
Ratkaisun innovatiivisuus	4
Monistettavuus	5
Helppokäyttöisyys	5
Ratkaisun takuuehdot	4
Referenssit	5
Yhteensä	4,65

Taulukossa 7 on esitetty asiantuntijaraadin arviointikriteerien mukainen pisteytys. Kokonaispistemäärä ratkaisulla on 4,65.

5.2 Toiseksi tullut ratkaisu

Pistoke Oy antoi tarjouksessaan kaksi eri toteutusvaihtoehtoa. Ensimmäisessä toteutusvaihtoehdossa lämmönkehittimenä on maalämpöpumppu, ja Legalett-puhallinyksikkö vaihdetaan vesipatterilla varustettuun malliin. Vaihtoehdossa 2

kokoonpanoa muutettiin siten, että sen käyttövesivaraaja on aurinkolämmityksen mahdollistava malli. (16, s. 21.)

Molemmissa vaihtoehtoissa Legalett-puhallinyksikkö vaihdetaan vesipattereilla toimivaksi. Optiona Pistoke Oy tarjoaa yläkertaan sähköpatterit korvaavat puhallinpatterit, jotka tarjoavat myös viilennysmahdollisuuden. Järjestelmään asennetaan myös lämmityksen puskurivaraaja, joka tasaa kuormitushuippuja ja parantaa maalämpöpumpun käyntiaikoja. (16, s. 21.)

Pistoke Oy:n ratkaisussa on maalämpöpumppuna Dimplex HPK 9 TEW -maalämpöpumppu. Käyttövesivaraaja on tilavuudeltaan 227 litraa ja lämmityksen puskurivaraaja 100 litraa. Lämpökaivon syvyys on 130 m. Optiona esitetyt yläkerran puhallinpatterit ovat Dimplex Smartrad –puhallinpattereita. (16 s. 22.)

Molemmille vaihtoehtoilte laadittiin edellisen kaltainen investointilaskelma. Vaihtoehdossa 1 kotitalousvähennys ja investointituki on laskettu tarjouksen mukaisella tavalla, missä oletetaan, että yläkertaan asennetaan puhallinpatterit. Laskelma on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Tarjousten vertailu (16)

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Investoinnin suuruus (€)	20 064,3	35 333,31
Kotitalousvähennys 2011 (€)	3 500	4 183,76
Investointituki (€)	2 500	4 117,39
Nettoinvestointi (€)	14 064,3	27 032,16
Ostetun energian hinta (€/kWh)	0,125	0,125
Energian hinnan nousu	3 %	3 %
Inflaatio	3 %	3 %
KULUTUSTIEDOT (vuosittaiset)		
Ostoenergian määrä nyt (kWh)	23 000	23 000
Energiakulut nyt (€)	2 875	2 875
Ratkaisulla saavutettu arvioitu säästö	70 %	70 %
Energiankulutus ratkaisulla (kWh)	6 900	6 900
Energiakulut ratkaisulla (€)	862,5	862,5
Saavutetut säästöt kWh	16 100	16 100
Saavutetut säästöt (€)	2 012,5	2 012,5
Sijoitetun pääoman tuotto	14,31 %	7,44 %
Korollinen (4 %) takaisinmaksuaika	n. 7 v.	n. 14,5 v.

Takaisinmaksuajoksi Green Net Finland on laskenut vaihtoehdolle 1 n. 7 vuotta ja n. 14,5 vuotta vaihtoehdolle 2. Kiinteistön markkina-arvon todennäköistä nousua ei ole huomioitu. (16, s. 22.)

Raadin lausunnon mukaan tarjoustä pidettiin erittäin laadukkaasti valmisteltuna ja ratkaisulla saavutetaan kaikki kilpailun asettamat tavoitteet. Optiona esitetyt puhallinpatterit syövät ratkaisun taloudellista kannattavuutta, minkä takia raati arvosteli vaihtoehdon ilman niitä. Tämä oli myös pisteytyksen kannalta eduksi tarjoajalle. (16, s. 23.)

Ratkaisun teknistä laatua pidettiin hyvänä, vaikkakin asiakkaan kokemat lattian lämpötilan epätasaisuusongelmat jäivät ratkaisematta. Se on myös helposti monistettavissa vastaaviin kiinteistöihin. Takuuehdot sekä helppokäyttöisyys todettiin hyviksi. Tarjouksessaan Pistoke Oy ei ollut tuonut esille referenssejään, vaan se tarjosi raadille mahdollisuuden tulla tutustumaan tekemiinsä toteutuksiin. (16, s. 23.)

Aurinkolämmitysvaraajan sisältämää vaihtoehtoa 2 raati piti hyvinkin innovatiivisena, mutta varaajan kallis hinta söi sen taloudellisuutta. (16, s. 23.)

Taulukko 9. Tarjousten pisteytys (16)

	Pisteytys	Pisteytys
Kriteeri	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Taloudellisuus	5	3
Tekninen laatu	3	4
Ratkaisun innovatiivisuus	3	5
Monistettavuus	5	5
Helppokäyttöisyys	5	5
Ratkaisun takuuehdot	4	4
Referenssit	3	3
Yhteensä	4,25	3,6

Taulukossa 9 on esitetty raadin pisteytys. Pistoke Oy:n vaihtoehtoista parempi ratkaisu sai pisteitä 4,25, kun voittanut tarjous sai 4,65. Tekninen ratkaisu sai vähemmän pisteitä, koska lattian lämpöongelmaa ei ratkaistu. Myös innovatiivisuus ja referenssit keräsivät voittanutta tarjoustä vähemmän pisteitä.

5.3 Valinta

Lopullisen ratkaisun toteutettavasta järjestelmästä teki asukas. Asukas valitsi omien kriteereidensä perusteella Pistoke Oy:n tarjouksen, joka ei ollut raadin esittämä voittajaratkaisu. Asukas valitsi tämän ratkaisun, sillä koki sen olevan itselleen sopivampi remontintarjoajan kokonaisvaltaisen ”avaimet käteen” -ratkaisun myötä. Hän valitsi toteutukseen myös optiona olleen yläkerran sähköpattereiden korvaamisen puhallinpattereilla, sillä niillä on mahdollista toteuttaa yläkerran jäähdytys. (18.)

Asukkaassa ihmetystä herätti odotusta alhaisempi tarjousten määrä. Molemmat tarjoukset olivat myös hänen mielestään perusteellisia ja laadukkaita, ja niiden sisältämä toteutussuunnitelma auttoi asukasta arvioinnissaan. (18.)

6 Remontin toteutus

6.1 Remontin kulku

Asuntoon toteutettiin hankkeen kriteereiden mukainen remontti 12/2011–1/2012. Remontin tarkoituksena oli pienentää asunnon ostoenergiankulutusta. Asukas valitsi remontin toteuttajaksi Pistoke Oy:n.

Remontti toteutettiin kahdessa vaiheessa. Maalämpökaivo porattiin joulukuussa 2011 ja sisällä tehdyt asennustyöt tehtiin kahden viikon aikana tammikuussa 2012. Maalämpökaivon poraamisen yhteydessä maalämpökaivon keruuputket tuotiin sisään varastoon (kuva 16).



Kuva 16. Maalämpöputkien läpivienti varastoon

Remontin ensimmäiset päivät kuluivat vanhaan toteutukseen tutustuessa ja runkolinjojen reittivalintoja pohtiessa ja kartoittaessa. Pistoke Oy oli ajatellut nostavansa ilmanvaihtokoneen lattiatasosta korkeammalle, jotta lämmitysvaraaja olisi

saatu sijoitettua sen alle tilan säästämiseksi. Koneen nosto ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä äänenvaimentimet olivat sijoitettu koneelta ylös nouseviin kanaviin (kuva 17). Suurempiin muutostöihin ei ryhdytty, joten lämmitysvaraajalle valittiin uusi paikka. (19.)



Kuva 17. Ilmanvaihtokone ja kanavalähdöt

Kun runkolinjojen reitit oli valittu ja todettu toimiviksi, alkoi putkiston asentaminen alakerran Legalett-puhallinyksikölle ja yläkerran makuuhuoneen puhallinpattereille. Kun kaikki laitteet oli pienten toimitusviivästysten jälkeen saatu paikalle, alkoivat laitteiden kytkentätyöt.

Remontti venyi aikataulusta hieman laitetoimitusten viivästyksien vuoksi. Rakennuksesta oli remontin aikana lämmitys sekä käyttövesi katkaistuna vain yhden työpäivän ajan, joten asunnossa pystyttiin asumaan koko remontin ajan.

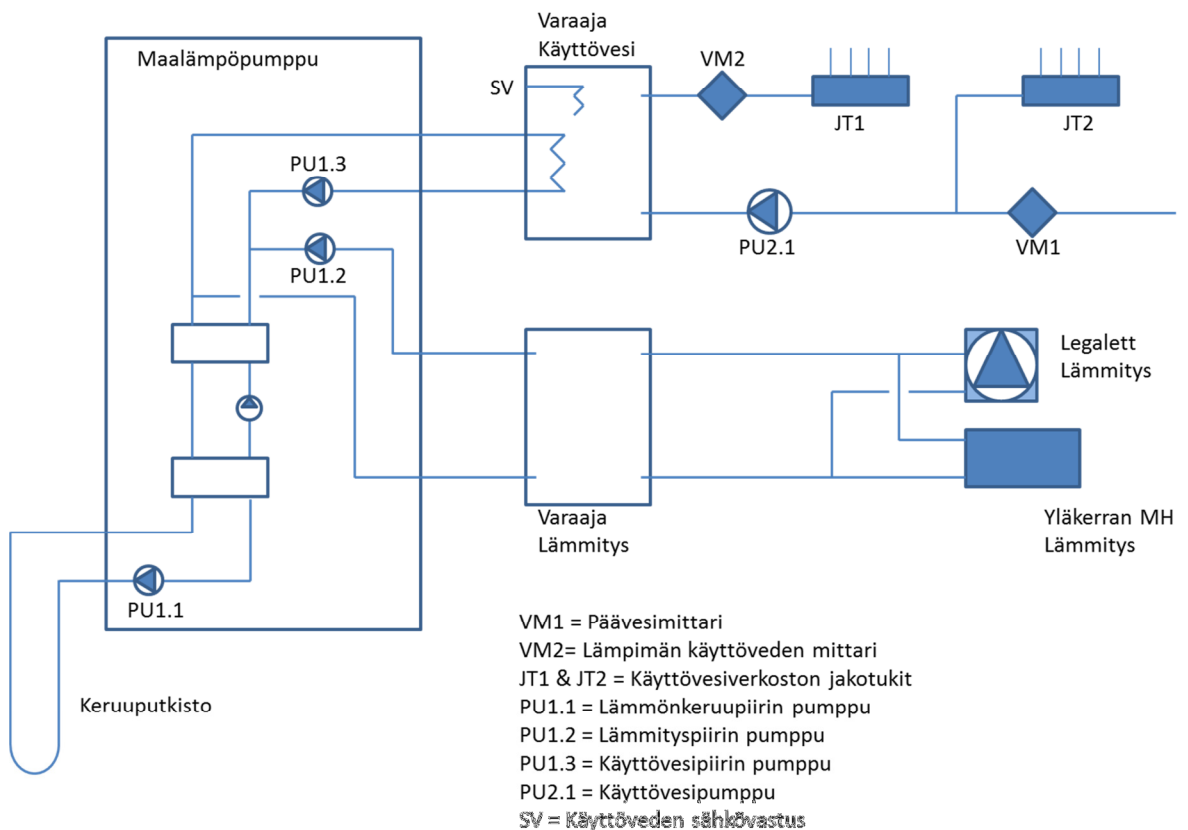
6.2 Toteutettu järjestelmä

Asukkaan valitsema Pistoke Oy:n tarjoama ratkaisu sisälsi lämmöntuottotavan muuttamisen maalämmöksi, Legalett-lattialämmitysjärjestelmän puhallinyksikön muuttamisen sähköpatteriversiosta vesipatterimalliin sekä yläkerran sähköpattereiden korvaamisen Smartrad-puhallinpattereilla. Alakerrassa olleet olohuoneen ja eteisen sähköpatterit jätettiin paikalleen. Myöskään yläkerran kylpyhuoneen lattialämmitykseen ei tehty muutoksia.



Kuva 18. Laitteet varastossa

Maalämpökaivo porattiin aivan rakennuksen läheisyyteen, varaston seinustalle. Maalämmön keruuputket tuotiin lämpökaivolta sisään varastoon. Maalämpöpumppu asennettiin vanhan käyttövesivaraajan paikalle varastoon. Lämmitysvaraajaa ei saatu alkuolettamuksen mukaisesti asennettua ilmanvaihtokoneen alle, joten se asennettiin varaston takaseinustalle lattialle. Kuvassa 18 on esitetty laitteiden sijottelua varastoon. Lämmitysvaraajalta asennettiin komposiittiputket alakertaan Legalett-puhallinyksikölle sekä yläkertaan makuuhuoneen puhallinpattereille.



Kuva 19. Maalämpöjärjestelmän periaatekaavio

Puhallinpatterille meneville kytkentäjohtoille tehtiin lävistys varaston ja portaan alustatilan varaston välille. Johdot kulkevat varastojen seinustalla n. 10 cm:n korkeudella puhallinyksikölle. Koska johdot asennettiin näkyviin seinäpinnalle, ne suojattiin peitelistalla. Yläkertaan menevät putket sijoitettiin varaston alakattoon, jossa ne kulkevat kylpyhuoneen nurkassa olevalle hormille. Hormi johtaa ylös yläkerran makuuhuoneeseen, joten se oli oiva sijoituspaikka johdoille. Makuuhuoneen kahden ison ikkunan alle sijoitetuille puhallinpattereille jakojohdot asennettiin seinustalle

n. 10 cm:n korkeudella ja johdot peitettiin peitelistalla. Yläkertaan vietiin 3 kappaletta komposiittiputkia. Kun puhallinpattereita käytetään jäähdytykseen, kondensoituu niissä vettä, joka pitää johtaa pois. Yksi putki on siis syntyneen kondenssiveden pois johtamista ja kaksi putkea lämmittävän nesteen kiertoa varten. Kuvassa 19 on esitetty maalämpöjärjestelmän periaatekaavio.

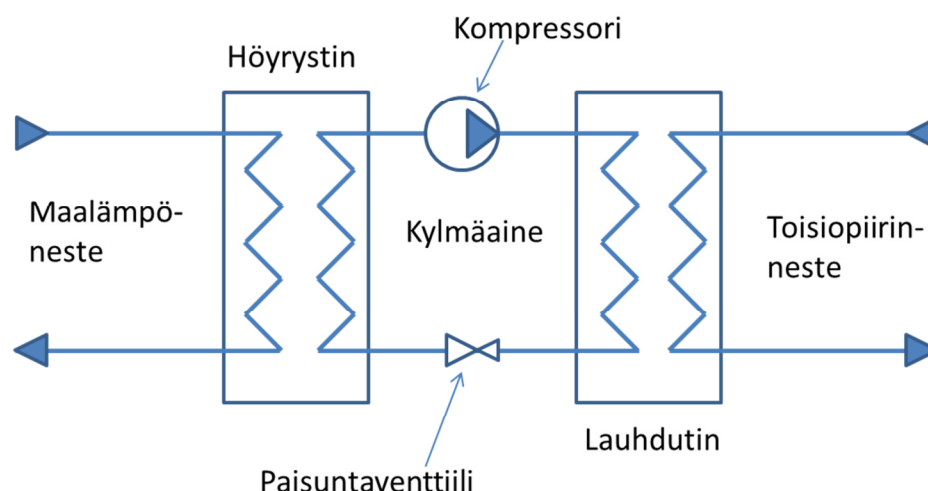
6.2.1 Maalämpöpumppujärjestelmän toiminta

Legalett-lattialämmityksen ja yläkerran makuuhuoneen puhallinpattereiden tarvitsema sekä käyttöveden lämmittämisen tarvitsema energia tuotetaan lähes kokonaan maalämpöpumpulla. Maalämpöpumppuyksikkö on malliltaan Dimplex HPK 9 TEW (16). Laitteessa tilankäytön optimoimiseksi samojen kuorien sisälle on asennettu maalämpöpumppu sekä käyttövesivaraaja. Käyttövesivaraajan tilavuus on 227 litraa. Varaajassa on lisälämmönlähteenä sähkövastus, mikäli käyttöveden lämpötilaa ei saada tarpeeksi kuumaksi pelkällä maalämpöpumpulla. Maalämpöpumpun kuorien sisällä on myös järjestelmän kaikki varo- sekä paisuntalaitteet. Lämpöpumpussa käytetään R407C kylmäainetta. Laitteistoon kuuluu myös erillisenä varaston lattialle asennettu lämmitysjärjestelmän puskurivaraaja, jonka tilavuus on 100 litraa. Malliltaan puskurivaraaja on Dimplex PSW 100. Niin lämmitys- kuin käyttövesivaraajankin tehtävä on taata tasainen lämmöntuotto sekä tasata kuormitushuippuja. Varaston ulkopuolelle poratun maalämpökaivon syvyys on 130 m, ja sitä hyödynnetään sekä lämmityksessä että viilennyksessä. (18.)

Lämpöpumppujen tärkeimmät komponentit ovat höyrystin, lauhdutin, kompressorin ja paisuntaventtiili. Pumppujen toiminta perustuu kylmäaineen olomuodonmuutoksiin, joissa sitoutuu ja vapautuu paljon energiaa. (21, s. 224.)

Maalämpöpumppu kerää lämpöenergiansa maalämpökaivosta. Kaivossa kiertävä neste pumpataan maalämpökaivon höyrystimen kautta takaisin kaivoon varaamaan itseensä lisää lämpöä. Höyrystin on lämmönsiirrin, jossa maalämpöpumpun kylmäaine höyrystyy ja samalla sitoo itseensä maalämpönesteeseen sitoutunutta lämpöä. Lämpöpumpun kompressorin imee itseensä lämmenneen höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin höyry lämpenee lisää. Höyry jatkaa matkaansa lauhduttimelle, joka on myös lämmönsiirrin. Lauhduttimessa lämmin höyry luovuttaa lämpönsä toisiopiiriin

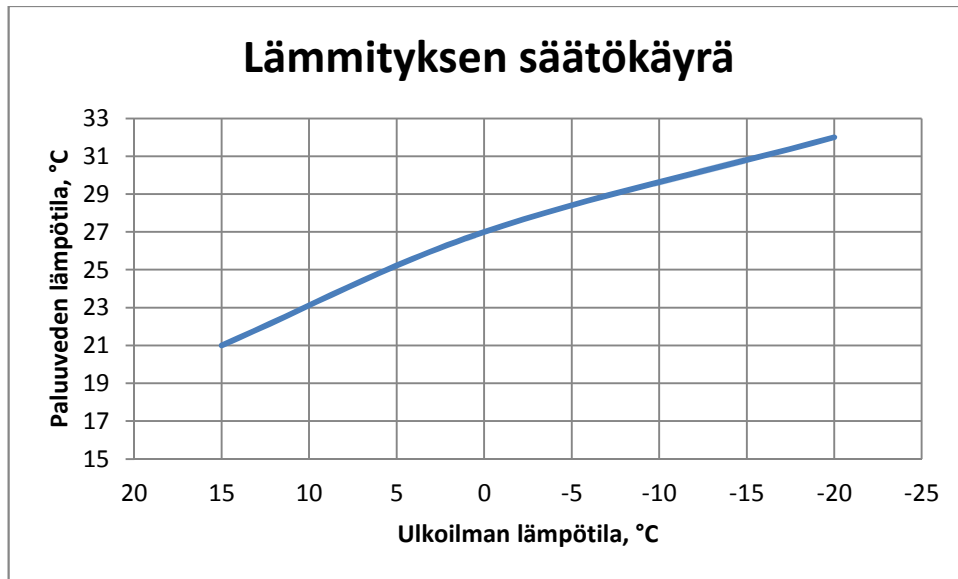
nesteele ja samalla lauhtuu eli nesteytyy. Nesteytynyt kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilille, joka laskee sen paineen. Samalla osa kylmäaineesta höyrystyy, minkä johdosta sen lämpötila voimakkaasti laskee. Paisuntaventtiilin jälkeen nesteen ja höyryn seoksena oleva kylmäaine päätyy takaisin höyrystimelle ja kierto alkaa alusta. Kuvassa 20 on esitetty kylmökoneen pääkomponentit, jollaiset ovat myös maalämpöpumpuissa. (21, s. 224.)



Kuva 20. Kylmökoneen pääkomponentit (21, s. 224)

Lauhduttimessa lämmennyt toisiopiirin neste lämmittää käyttöveden ja lämmityspiirin nesteen. Toisiopiirin nestevirtoja ohjataan pumpuin. Sekä lämmitykselle että käyttövedelle on oma pumppunsa. Kun maalämpölaitteiston mitta-anturit havaitsevat lämmöntarvetta varaajassa, käynnistyvät pumput niin, että lämpöä saadaan oikeaan varaajaan (22).

Maalämpöpumpussa lämmitysveden lämpötiloja ohjataan ulkoilman lämpötilan mukaisesti (22). Järjestelmän ulkoilman lämpötila-anturi on asennettu varaston ulkoseinustalle. Lämmitysveden lämpötilojen säätö toimii siten, että jokaista ulkoilman lämpötilaa vastaa lämmityspiiristä palaavan veden lämpötila. Kun lämpötilapisteet piirretään kuvaajaan, muodostuu käyrä. Tätä kutsutaan lämmityksen säätökäyräksi. Järjestelmä mittaa ulkolämpötilaa ja paluulämpötilaa ja säätää lämmöntuottoa varaajalle sen mukaan, miten arvot vastaavat toisiaan. Kuvassa 21 on esitetty esimerkki lämmitysjärjestelmän säätökäyrästä. Käyrä ei kuitenkaan vastaa tilannetta tutkitussa maalämpöpumpussa.



Kuva 21. Esimerkki lämmityksen säätökäyrästä

Maalämpöpumpun etupaneelissa on sen ohjainyksikkö. Ohjainyksiköstä säädelään laitteen toimintaa sekä asetetaan järjestelmän toiminnan kannalta oleelliset arvot. Laitteisto on myös sisäänrakennettu mittauslaitteisto, jonka mittauksiloket on luettavissa ohjauspaneelin kautta.

6.2.2 Rakennuksen lämmönjako

Rakennukseen jaetaan lämpöä neljällä eri tavalla, alakerrassa Legalett-lattialämmitysjärjestelmällä, yläkerran makuuhuoneessa Dimplex Smartrad-puhallinpattereilla, yläkerran kylpyhuoneessa sähköisellä lattialämmityksellä. Lisäksi olohuoneessa ja eteisessä tarvittaessa käytetään sähköpattereita. Näistä yläkerran kylpyhuoneen lattialämmitys sekä lisälämmönlähteinä toimivat patterit toimivat samalla tavalla kuin ennen remonttiakin.

Legalett-lattialämmityksen vanha sähköpattereilla varustettu puhallinyksikkö korvattiin vastaavan tehoisella vesipatteriversiolla. Puhallinyksikkö on samankokoinen, joten se sopi samaan asennuskehikkoon vanhan laitteen kanssa. Puhallinyksikölle johdettiin komposiittiset ulkohalkaisijaltaan 26 mm olevat lämmityspotket. Lattialämmityksen säätö onnistuu vanhoilla huonetermostaateilla. Myöskään järjestelmän lämmönjakoputkistoon ei tehty muutoksia.

Yläkerran makuuhuoneeseen asennettiin puhallinpatterit vanhojen sähköpattereiden tilalle. Patterit ovat malliltaan Dimplex SmartRad SRX –puhallinkonvektoreita (kuva 22), ja ne on suunniteltu lämmitys- ja jäähdytyskäyttöön. Komposiittinen lämmitysputkisto sekä kondenssiputkisto johdettiin alakerran alakatossa yläkertaan. Yläkertaan johtavien lämmitysputkien ulkohalkaisija on 22 mm. Pattereiden lämmönsiirto perustuu pakotettuun konvektioon, koska puhallin kierrättää lämmintä tai jäähdytettyä ilmaa huoneeseen ja imee ilman patterille.



Kuva 22. Makuuhuoneen puhallinkonvektori

Molemmissa laitteissa on omat säätimet, joihin asetetaan haluttu huonelämpötila. Kun konvektori havaitsee huoneessa poikkeavan lämpötilan, se säätää puhaltimen nopeuden automaattisesti mielestään optimaaliselle nopeudelle. Jos poikkeama on suuri, kytkeytyvät puhaltimet täydelle nopeudelle ja lämpötilan lähestyessä asetusarvoa hiljenevät ne asteittain. (23.) Täyden puhallinnopeuden voi kytkeä pois halutessaan, sillä esimerkiksi makuuhuoneessa sen aiheuttama melu saattaa häiritä nukkujaa.

6.2.3 Käyttövesiverkoston muutokset

Käyttövesiverkostossa vanha lämminvesivaraaja korvattiin uudella maalämpöjärjestelmään sopivalla varaajalla. Uuden lämminvesivaraajan tilavuus on 227 litraa, ja siinä on lisälämmönlähteenä sähkövastus (21). Käyttöveden lämmitysenergia saadaan kuitenkin pääosin maalämpöpumpusta. Mikäli maalämpöpumppu ei kykene nostamaan käyttöveden lämpötilaa haluttuun arvoon, saadaan lisälämmitystehoa sähkövastuksesta. Käyttövesiverkoston asennettiin muutostöiden yhteydessä vesimittari, joka mittaa lämpimän käyttöveden kulutusta.

6.2.4 Kiinteät mittalaitteet

Remontin yhteydessä rakennuksen LVI-järjestelmiin asennettiin kiinteitä mittalaitteita energiankulutuksen tarkemman seuraamisen mahdollistamiseksi. Maalämpöpumppuyksikön ohjauspaneelista voidaan lukea sen mittaamat mittaustulokset. Lisäksi seinille asennettiin kiinteitä sähkönkulutuksen mittalaitteita. Myös jo aikaisemmin mainittu lämpimän veden kulutusmittari asennettiin. Rakennukseen jätettiin myös ainoa remonttia edeltänyt mittalaite, eli päävesimittari.

Maalämpöpumpun ohjausyksiköstä voidaan lukea seuraavat mittaustulokset:

- kompressorin käyntiaika
- ensiöpumpun käyntiaika (lämmönkeruupiiri)
- lämmitys- ja käyttövesipumpun käyntiaika
- sähkövastuksen päälläoloaika
- maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia
- maalämpöpumpun lämmitykseen tuottama lämpöenergia
- maalämpöpumpun käyttöveden lämmitykseen tuottama energia.

Tekniseen tilaan asennetut kiinteät mittalaitteet mittaavat seuraavat mittaustulokset:

- olohuoneen sähköpattereiden sähköenergian kulutus
- eteisen sähköpattereiden sähköenergian kulutus
- yläkerran kylpyhuoneen lattialämmityksen sähköenergian kulutus
- kaikkien pumppujen yhteinen sähköenergian kulutus
- lämpimän veden kulutus.

7 Tilanne remontin jälkeen

Remontin vaikutuksen arvioimiseksi laadittiin remontin valmistumisen jälkeen energiakulutuslaskelmat uudelleen vastaamaan uutta järjestelmää. Laskelmat laadittiin samoilla menetelmillä kuin ennen remonttia. Ainoastaan niitä lähtöarvoja muutettiin, joihin remontti vaikutti.

7.1 Mittaukset

Laskennan tueksi suoritettiin samantyyllisiä mittauksia kuin ennen remonttia. Tarkoituksena oli kerätä laskelmiin tarkentavaa tietoa sekä seurata sisäilmaston laatua. Osa mittauksista oli kertamittauksia ja osa seurantamittauksia.

Remontin yhteydessä kiinteistön järjestelmiin asennettiin luvun 6.1.4 mukaisia kiinteitä mittalaitteita. Näitä mittalaitteita hyödynnettiin mittauksissa.

Osa remontin jälkeen suoritetuista mittauksista tehtiin laitteille tai järjestelmille, jotka eivät muuttuneet remontin aikana. Tällaisia ovat esimerkiksi IV-kone ja asunnon sähkölaitteet ja kodinkoneet. Näin ollen näistä mittauksista saatuja tuloksia voidaan hyödyntää soveltuvin osin myös laskelmiin, jotka koskevat ennen remonttia ollutta järjestelmää.

7.1.1 Seurantamittaukset

Kohteessa suoritettiin alla listatut mittaukset seurantamittauksina:

- ulkoilman lämpötila ja kosteus
- sisäilman lämpötila, kosteus ja hiilidioksidipitoisuus olohuoneessa
- sisäilman lämpötila, kosteus ja hiilidioksidipitoisuus makuuhuoneessa
- sisäilman lämpötilan kerrostuma
- LTO-kennon hyötysuhde
- kodinkoneiden ja kodin sähkölaitteiden sähkönkulutus

Järjestelmän kiinteillä mittalaitteilla suoritettiin pitempiaikaista seuranta. Näistä mittareista saatuja lukemia on hyödynnetty erilaisten kulutuksien selvittämisessä ja laskennassa.

Lämpötila- ja sisäilmastomittausten seuranta suoritettiin 2.–13.3.2012. Kodinkoneiden ja kodin sähkölaitteiden sähkönkulutuksen mittaukset tehtiin kahdessa jaksossa.

Ulkoilmaa sekä olohuoneen ilmastoa mittaavat laitteet oli järjestelty samalla tavalla kuin mittauksissa ennen remonttia. Poikkeuksena aikaisempaan nyt mitattiin myös ulkoilman kosteutta. Kosteusanturi oli samassa laitteessa lämpötila-anturin kanssa.

Makuuhuoneen sisäilman lämpötila, kosteus ja hiilidioksidipitoisuus mitattiin, jotta voisimme selvittää ilmanvaihdon riittävyden tilassa sekä tarkkailla ilmasto-olosuhteita. Mittalaite asennettiin makuuhuoneen kirjahyllyn ylimmälle hyllylle (kuva 23). Mittalaite kykenee mittaamaan kaikki kolme mitattavaa suuretta.



Kuva 23. Makuuhuoneen sisäilmaston mittauslaite

Sisäilman lämpötilan kerrostumista mitattiin olohuoneessa, jossa alakatto on korkealla. Korkeassa tilassa lämmin ilma nousee herkästi yläosaan, jolloin ala- ja yläosan välinen lämpötilaero saattaa olla suuri. Lämpötilakerrostumaa mitattiin kahdella eri

dataloggerilla, joista toinen oli sijoitettu olohuoneen nurkkaan ja toinen yläkerran porrasaulaan. Porrasaulassa olleen dataloggerin mitta-anturit oli sijoitettu tasaisesti olohuoneen seinälle. Olohuoneessa olleen dataloggerin mitta-anturit oli sijoitettu 0,3 ja 1,1 m:n korkeudelle, ja porrasaulan dataloggeri mittasi 1,7:n, 2,7:n, 3,7:n ja 4,7 metrin korkeudelta.

LTO-kennon hyötysuhde mitattiin keräämällä lämpötilatietoja kennoon menevistä ja tulevista lämpötiloista (kuva 24). Ilmanvaihtokoneeseen asennettiin anturin mittapäät siten, että saatiin mitattua kennolle tulevan ulkoilman, kennolta asuntoon päin lähtevän ilman, asunnosta kennolle tulevan poistoilman ja kennolta lähtevän likaisen ilman lämpötilat. Kuvassa 29 on esitetty kaaviokuva mittauspisteiden sijoittumisesta. Lämpötila-anturit kiinnitettiin ilmanvaihtokoneen kammioiden seiniin siten, että mitta-anturi ei ollut kiinni seinämässä. Kun kennoon tulevat ja poistuvat lämpötilat tiedetään, voidaan hyötysuhde laskea. Laskenta on esitetty luvussa 7.2.3. Antureina toimivat johdot ovat tarpeeksi litteitä mahtuakseen kannen ja tiivisteen väliin, jolloin ilmavuotoja koneesta ei tule ja kansi saadaan tiiviisti kiinni. Lämpötila-arvot mitattiin minuutin välein.



Kuva 24. Hyötysuhdemittausjärjestelyt

Kodinkoneiden ja kodin sähkölaitteiden sähköenergian kulutuksen seurantaan käytettiin mittalaitteita, jotka asennettiin pistorasian ja laitteen pistokkeen väliin. Kiinteistöstä mitattiin pistotulpallisista laitteista eniten kuluttavia. Osa laitteista kytkettiin samaan jatkojohtoon koko laitekokonaisuuden mittaamiseksi. Mitattuja laitteita ja kodinkoneita olivat:

- jääkaappi
- pakastin
- kahvinkeitin & leivänpaahdin
- mikroaaltouuni & vedenkeitin
- olohuoneen viihdekeskus, sisältää mm. television, digiboksin, vahvistimen, subwooferin ja dvd-soittimen
- pyykinpesukone
- levysoitin
- tietokoneen keskusyksikkö
- tietokoneen näyttö
- astianpesukone
- kahvikone.



Kuva 25. Kahvikoneen sähkönkulutusmittaus

Kuvassa 25 on esitetty kahvikoneen sähkönkulutuksen mittausjärjestely.

7.1.2 Kertamittaukset

Kertamittauksia kohteessa suoritettiin muutamilla eri mittauskerroilla. Kertamittauksina mitattiin:

- tulo- ja poistoilmavirrat
- IV-koneen puhaltimien sähkön ottoteho
- autopistokkeen sähköteho
- makuuhuoneen äänitasot.

Ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmavirrat mitattiin samalla tavalla kuin aiemminkin. Mittausten tarkoituksena oli selvittää, oliko ilmavirtoja säädetty.

Ilmanvaihtokoneen puhaltimien ottama sähköteho mitattiin, jotta sitä voitaisiin hyödyntää laskelmissa. Jotta puhaltimien teho saadaan määritettyä, pitää tietää virta sekä jännite. Ilto 440 IV-kone on rakennettu tavalla, jossa jokaiselle puhallinnopeudelle on valittavissa eri jännitetaso riippuen halutusta ilmavirrasta tai paineentuotosta. Jännitetaso valitaan usein joko suunnittelijan määritysten tai mittausten perusteella järjestelmää käyttöön otettaessa. Jännite valitaan koneessa siten, että koneen sähkölaatikossa on muuntaja, jossa jokaiselle mahdolliselle jännitetasolle on eri liitin. Puhallinnopeutta vastaavaa jännitettä selvittäessä oli siis avattava koneen sähkölaatikko ja tarkastettava johdinten paikka muuntajassa. Koneen ottama sähkövirta eri puhallinnopeuksilla mitattiin sähkölaatikkoon tulevasta johdosta virtamittarilla. Ennen virtamittausta jälkilämmitysvastus kytkettiin pois päältä. Mittarina käytettiin pihtimittaria. Mittauksessa johto jätettiin leukojen muodostaman renkaan sisäpuolelle, jolloin mittari mittasi johdossa kulkevan virran. Tämän mittauksen suoritti remontin tehneen Pistoke Oy:n sähköasentaja. (24, s. 7–8)

Autopistokkeen sähköteho mitattiin käyttämällä seurantamittauksien kanssa samanlaista sähkönkulutusmittaria. Koska mittausjakson aikana ei autoa lämmitetty kertaakaan, omistaja käynnisti pyynnöstä autonlämmityksen hetkeksi, jolloin mittalaite tallensi tiedon tehonkulutuksesta. Lämmityksen aikana kuluva teho on aina vakio.

Makuuhuoneen äänitasot (dB) mitattiin asumismukavuuden selvittämiseksi. Äänitasot mitattiin äänenpainemittarilla keskeltä huonetta sekä sängyn vierestä. Äänitasot mitattiin vain yhden patterin puhaltimen käydessä.

7.1.3 Kiinteät mittalaitteet

Maalämpöpumpun sisäänrakennetuista mittalaitteista voi lukea pumppujen, kompressorin ja käyttöveden sähköisen lisälämmittimen käyntiajat. Laitteisto rekisteröi komponenttien käyntiajat, ja ne on luettavissa laitteen ohjauspaneelin näytöltä. Järjestelmä mittaa myös sen tuottamaa lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen energiaa. Laitteiston sisäisiin putkiin on asennettu lämpötilan sekä veden virtauksen mittalaitteet. Virtaamamittari mittaa putkessa varaajalle kulkevan vesivirran. Varaajalle menevässä ja palaavassa putkessa on lämpötilamittaukset. Kun veden virtaus sekä sen lämpötilaero tiedetään, voidaan veden mukana siirtynyt teho laskea. Kun veden mukana siirtynyt teho, sekä ko. pumpun käyntiaika on tiedossa, voidaan niiden avulla laskea tuotettu energia. Alla on esitetty kaava 3, jolla energian tuotto voidaan laskea.

$$Q = \rho \times q_v \times c_p \times \Delta T \times t / 3600 \quad (3)$$

Q on tuotettu energia, kWh

ρ on veden tiheys, kg/m³

q_v on veden virtaama, m³/s

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

ΔT on menevän ja palaavan veden lämpötilaero, K

t on ko. piirin pumpun käyntiaika, s

3600 on laatumuunnoskerroin, kJ/kWh

Järjestelmän tuottamaa energiaa ja komponenttien käyntiaikoja seurattiin 2.3.2012–5.4.2012. Mittaustuloksia luettiin myös seurannan aikana ja kirjattiin muistiin.

Laitteiston neljä sähkönkulutusmittaria ilmoittaa niiden kautta kulkeneen sähköenergian. Mittarit on kytketty sähkökeskuksen sekä kulutuspisteiden välille. Mittarien mittaamat sähköenergian kulutukset voidaan lukea mittarin näytöltä. Lämmityslaitteiden sähköenergian mittarit on asennettu teknisen tilan seinälle sähkökaapin viereen (kuva 26). Koko maalämpöpumppuyksikön sähkönkulutuksen mittari on sijoitettu teknisen tilan takaseinälle pumpun viereen. Sähkönkulutuksia seurattiin 23.2.2012–5.4.2012.



Kuva 26. Kiinteät sähkönkulutusmittarit

Vesimittarit mittaavat niiden läpi virtaavan vesimäärän. Mittarissa on siipipyörä, joka pyörii kun vesi virtaa sen läpi. Mittari on kalibroitu siten, että tietty määrä siipipyörän pyörähdyksiä vastaa jotain veden tilavuusmäärää. Mittari näyttää veden kulutuksen joko litroina tai kuutiometreinä mittarin päällä olevasta analogisesta näytöstä. Lämpimän veden mittari mittaa kulutusta kuutiometreinä. Kun vedenkulutus on hyvin vähäistä ja mittari mittaa kulutusta kuutiometreinä, on tarkkaa lämpimän veden kulutusta vaikea lukea mittarista. Vedenkulutuksia seurattiin 23.2.2012–5.4.2012.

7.1.4 Mittalaitteisto

Remontin jälkeen tehdyissä mittauksissa käytettiin samanlaisia laitteita kuin ennen remonttia tehdyissä mittauksissa. Tällaisia mittalaitteita olivat lämpötilojen ja sisäilmaston (hiilidioksidi ja kosteus) seurannassa sekä ilmavirtojen mittamisessa käytetyt laitteet. Nämä laitteet on esitelty luvussassa 4.1.3. Ulkona ollut mittalaite oli

kuitenkin erilainen, sillä tällä kertaa se mittasi myös kosteutta. Lisäksi mittauksissa hyödynnettiin laitteiston kiinteitä mittalaitteita, joiden toiminta on esitetty luvussa 6.1.4.

Ulkoilman lämpötilaa ja kosteutta mitattiin Escort-dataloggerilla. IV-koneen puhaltimien sähkötehon määrittämiseksi mitattu sähkövirta mitattiin virtamittarilla.



Kuva 27. TechnoLine Cost Control -sähkönkulutusmittari

Kodin laitteiden sähkönkulutuksen seurannassa käytettiin TechnoLine Cost Control –sähkönkulutusmittareita (kuva 27). Mittarit ovat suoraan pistorasiaan kytkettäviä ja niihin voidaan liittää yksi virtajohto. Mittareiden ohjaukseen ja mittaustulosten lukemiseen on erillinen kauko-ohjainyksikkö, jonka näytöltä mittaustulokset voidaan lukea. Aluksi laite kytketään pistorasiaan, minkä jälkeen mitattavan laitteen johto kytketään mittariin. Mittariin kytkettiin myös jatkojohto, johon oli liitetty useita laitteita, mikäli haluttiin mitata laiteryhmän kulutusta. Kun laite on kytketty, ohjelmoidaan se johonkin kauko-ohjaimen mittauskanavista. Kanavia on yhteensä 8, jolloin yhdellä kaukosäätimellä voidaan ohjata 8 mittalaitetta. Jokaisella mittalaitteella on oma tunnistenumerosa, jolla ne tunnistautuvat kauko-ohjaimelle. Mittalaite tallettaa tiedon itseensä, ja kun tiedot halutaan lukea kauko-ohjaimen näytöltä, lähettää mittalaite mittaustiedot ohjaimelle langattomasti. Laitteesta saadaan luettua ko. hetken kulutus, suurin laitteen ottama teho, mittausjakson energiankulutus, mittausjakson pituus sekä käyttöaika. Lisäksi laite voi arvioida sähkön säästöä ja sen avulla säästettyä rahaa. Näitä ominaisuuksia ei kuitenkaan käytetty.

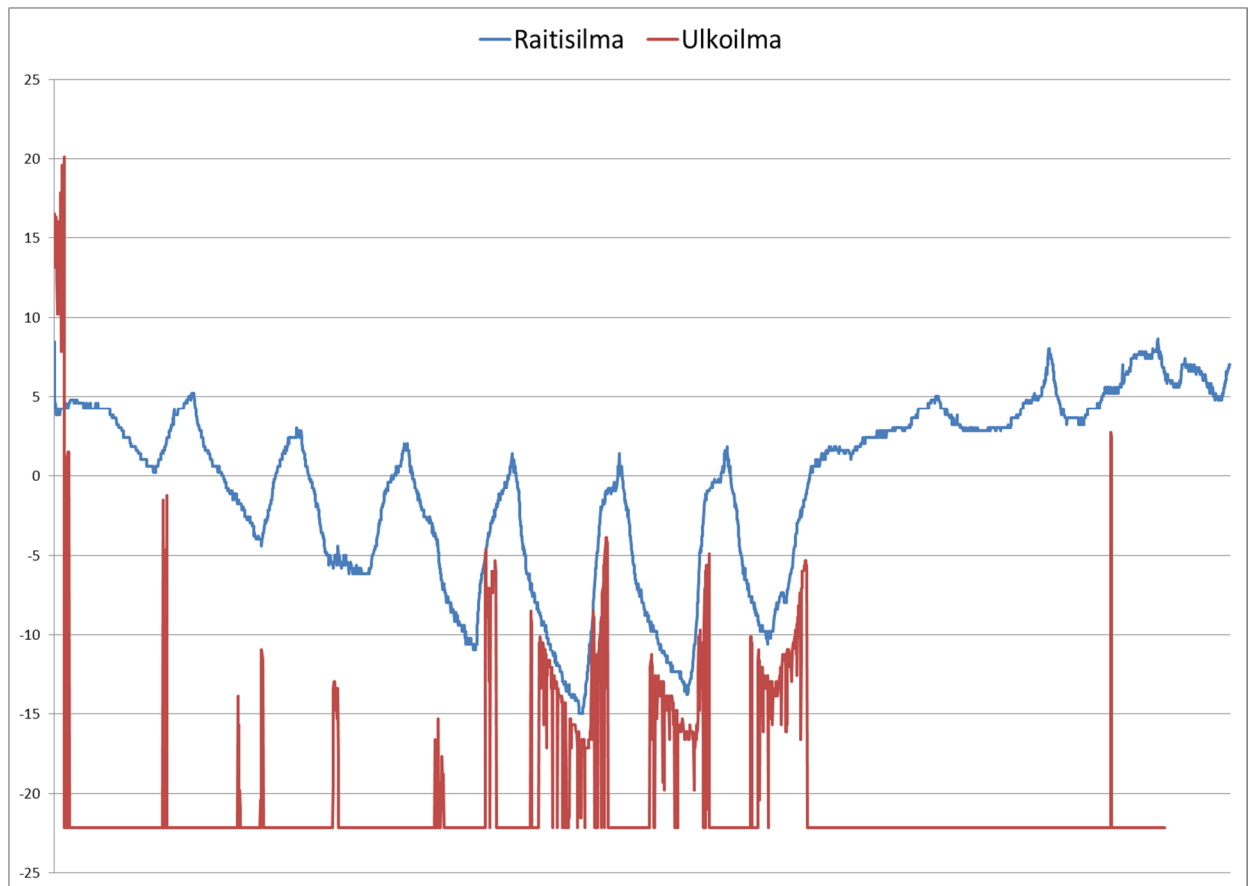
7.2 Mittaustulokset

Tässä luvussa esitetään mittaustulokset, niiden analysointi sekä mahdollinen muunnos laskelmissa käytettävään muotoon. Joidenkin mittausten tuloksia ei voida suoraan hyödyntää laskennassa, vaan mittaustuloksia on muokattava.

7.2.1 Sisä- ja ulkoilman lämpötila

Sisäilman lämpötilaloggauksella selvitettiin uuden järjestelmän aikaista sisäilman lämpötilaa sekä lämpötilan kerrostumista olohuoneen korkeimmassa kohdassa. Kun mitattiin samalla ulkolämpötilaa, pystyttiin tutkimaan, kuinka hyvin sisälämpötila pysyy tasaisena ulkolämpötilan vaihdellessa. Laskelmissa käytetty sisäilman lämpötila on otettu keskiarvona mittausajankohdan mitatuista sisälämpötiloista. Laskelmiin syötetty sisälämpötila on mitattu 1,7 m:n korkeudelta ja se on 21,7 °C. Talviaikaan sisäilman kerrostumista ei juurikaan esiinny.

Ulkolämpötilan seurannan mittaustuloksia analysoidessa huomattiin mittalaitteessa olleen ongelmia. Laitteen oli tarkoitus mitata lämpötilaa sekä kosteutta. Mittaustuloksissa oli joukossa vääränlaisia mittausarvoja, jotka saattavat johtua laitteen mittapäiden jäätymisestä. Koska samaan aikaan mitattiin LTO-kennolle ulkoilmasta tulevan ilman lämpötilaa, pystyttiin sitä käyttämään apuna ulkolämpötilan määrittämiseen mittausjaksolla. Kun ulkolämpötilan onnistuneet mittausarvot sekä LTO-kennolle tulleen ilman lämpötilan mittausarvot asetettiin ajallisesti samaan kohtaan, voitiin arvioida ulkoilman lämpeneminen kanavassa ennen sen tuloa LTO-kennolle. Alla olevassa kuvassa on esitetty molemmat mittausarvot. Kuvasta voidaan nähdä ulkoilman mittauksen onnistuneen hetkellisesti ja se että se vastaa LTO-kennolle tulleen ilman lämpötilan trendiä.



Kuva 28. Ulkolämpötilojen mittaustulokset

Kuvassa 28 olevien ulko- ja raitisilman mittaustuloksia esittävien kuvaajien keskivaiheilla voidaan huomata pisimmät jaksot onnistunutta ulkolämpötilan mittausta. Näihin jaksoihin on osunut epäonnistuneita mittauspisteitä. Onnistuneiden mittauspisteiden ja LTO-kennolta mitatun lämpötilan keskimääräisen erotuksen avulla on laadittu kuvaaja näin lasketuista ulkoilman lämpötiloista. Kuvaaja on esitetty liitteessä 15. Yllä mainitulla tavalla saamme vain arvion ulkoilmasta, mutta se on kuitenkin riittävä arvioidaksemme lämmityslaitteiston toimintaa. Kuvaajasta voidaan huomata keskivaiheilla vain muutaman asteen erotus mitatuista lämpötiloista. Näin ollen lasketun lämpötilan voidaan olettaa olevan muutaman asteen sisällä oikeasta lämpötilasta.

Sisäilman lämpötila pysyi mittausajanjaksolla tasaisena, vaikka ulkoilman lämpötila vaihteli hyvinkin paljon. Tasaisuus kertoo lämmityslaitteiston hyvästä toiminnasta. Kuvaaja sisä- ja arvioidusta ulkolämpötilasta on esitetty liitteessä 15.

7.2.2 Sisäilmasto

Olohuoneen hiilidioksidi- ja kosteusmittauksilla arvioitiin tilan sisäilman luokkaa. Arviointi on tehty samalla tavalla kuin ennen remonttia. Kriteerit on esitetty luvussa 4.2.1. Mittaustuloksista voidaan todeta ilman laadun olleen seuratulla ajanjaksolla hyvä. Hiilidioksidin arvo ylittää vain kahdesti yli arvon 700 ppm ja silloinkin vain minimaalisesti ja lyhytkestoisesti. Syytä selvittäessä korkean arvon selittäjäksi ilmeni asunnossa vierailleen kyseisillä hetkillä sukulaisia. Useampi ihminen tuottaa enemmän hiilidioksidia, jolloin sen mitattu arvo on korkeampi. Muuten hiilidioksidiarvot pysyttelevät reilusti alemmalla tasolla.

Mitattu ilman kosteusprosentti olohuoneessa pysytteli välillä 10–30 %. Sen voidaan todeta olevan jopa alhainen. Alhaista kosteutta koko mittausjakson ajalle selittää asukkaiden käyttäytyminen sekä talviaikainen ulkoilman vähäinen kosteus. Asunnossa valmistetaan ruokaa liedellä kovin vähän, ja samoin veden kuluttaminen on pientä. Ne ovat ihmisten lisäksi suuria kosteuden tuottajia. Vaikka kosteusprosentti onkin alhainen, se ei aistinvaraisesti tunnu siltä. Myöskään asukkaat eivät ole sitä kokeneet ongelmaksi. Kuvaaja olohuoneen sisäilmastosta on esitetty liitteessä 16.

Myös makuuhuoneessa mitattiin ilman hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus. Makuuhuoneessa ilman laatu on tärkeä, sillä siellä ihminen oleskelee suuren osan ajastaan. Näin ollen makuuhuoneen heikon ilmaston vaikutukset ovat suuremmat kuin esimerkiksi olohuoneen.

Makuuhuoneesta mitattu hiilidioksidipitoisuus vaihteli 300–1 050 ppm. Korkeimmat arvot ovat mitattu yöaikaan, jolloin makuuhuoneessa nukkuu 2 henkilöä. Yöaikana hiilidioksidipitoisuus kohoaa arvoon 900 ppm. Mittausjakson loppupäässä makuuhuoneesta on mitattu korkeimmillaan 1 050 ppm.

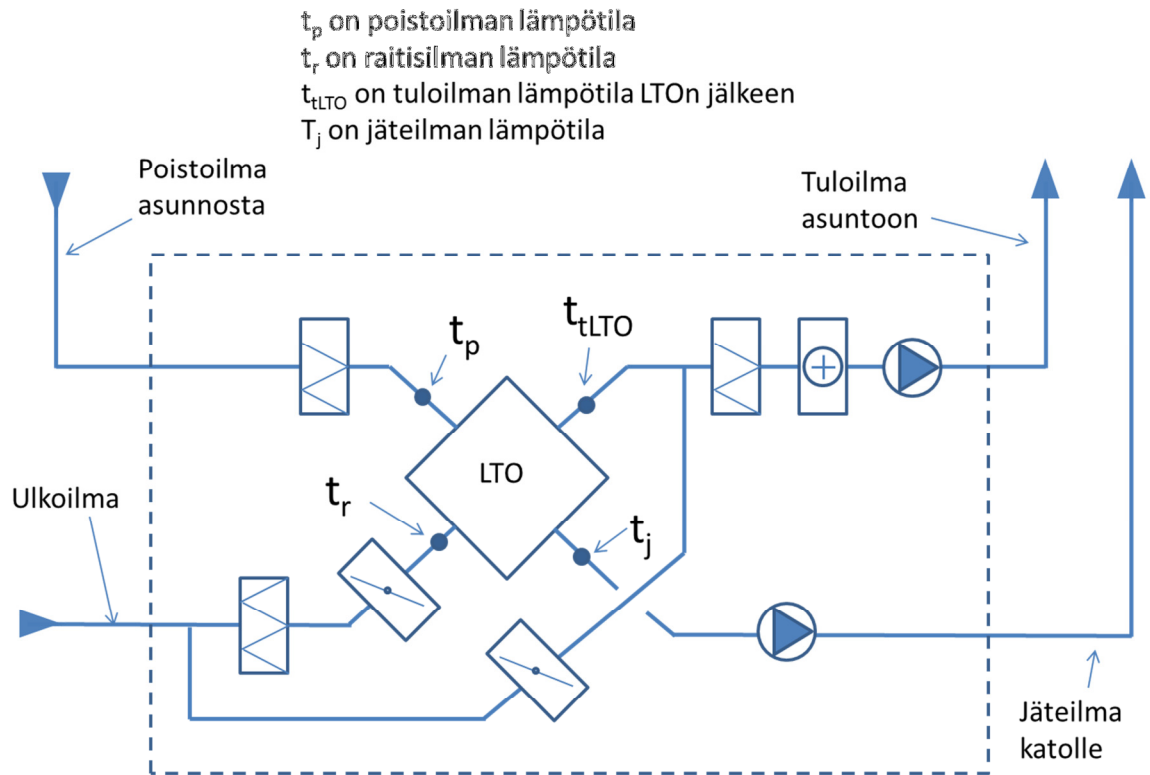
Mitatut hiilidioksidipitoisuudet eivät ole haitallisen korkeita. Ne kuitenkin kohoavat yöaikana kohtalaisen korkeaksi. Tähän voi vaikuttaa lisäämällä ilmanvaihdon nopeutta yöajaksi tai pitämällä huoneen ovea auki.

Makuuhuoneen kosteusprosentti pysyttelee lukemissa 15–30 %. Yöaikainen kosteus on 20–25 %, jolloin kosteus on alhainen mutta normaalitasolla. Kuvaaja makuuhuoneen sisäilmastosta on esitetty liitteessä 17.

7.2.3 LTO-kennon hyötysuhde

LTO-kennon hyötysuhteet voidaan määrittää, kun tunnetaan kennoon menevät ja kennosta tulevat lämpötilat. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 energialaskelmissa käytetään LTO-kennon ilmavirtakorjattua tuloilman hyötysuhdetta. Tuloilman lämpötilahyötysuhde on tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman lämpötilan väliseen lämpötilaerotukseen (25, s. 9). Ilmavirtakorjatussa tuloilman hyötysuhteessa on huomioitu tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. Tarkastellussa kiinteistössä poistoilmavirta on suurempi oikean painesuhteen ylläpitämiseksi. Kun poistoilmavirta on suurempi kuin tuloilmavirta, täytyy laskettu tuloilman hyötysuhde muuntaa sopimaan tilannetta, jossa ilmavirrat ovat yhtä suuret. Tämä tuloilman hyötysuhde tarvitaan energialaskelmissa. Alla on esitetty hyötysuhteen selvittäminen ja siihen liittyvä laskenta. Laskenta on suoritettu ympäristöministeriön monisteen 122 *Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa* mukaisesti.

Dataloggeri on mitannut lämpötilat ilmavirroista, jotka menevät ja poistuvat LTO-kennosta seurantajaksolla. Kuvassa 29 on esitetty kaaviokuva mittauspisteiden sijainnista sekä kyseistä pistettä vastaavan lämpötilan nimitys. Lämpötila jokaisesta pisteestä on mitattu yhden minuutin välein, jolloin jokaiselle mittaushetkelle on voitu laskea tuloilman hyötysuhde.



Kuva 29. Hyötysuhdemittauksen mittauspisteet

Tuloilman hyötysuhde η_t yhden mittaushetken lämpötiloilla lasketaan kaavan 4 mukaan (25, s. 14). Kaavaan on syötetty ko. mittaushetken lämpötilat. Käytetyt symbolit on esitetty yllä olevassa kuvassa.

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_r}{t_p - t_r} \quad (4)$$

Kun tuloilman hyötysuhde on laskettu kaikille mittauspisteille, niistä lasketaan keskiarvo. Hyötysuhde vaihtelee lämpötilojen mukaan, jolloin keskiarvo edustaa keskimääräistä hyötysuhdetta, jota voidaan käyttää laskelmissa. Tuloilman hyötysuhteiden keskiarvoksi on saatu 63 %. Hyötysuhteen tarkkuudeksi riittää yhden prosenttiyksikön tarkkuus. Liitteessä 18 on esitetty LTO-koneesta mitatut lämpötilat sekä niitä vastaavat hetkelliset tuloilman hyötysuhteet.

Hyötysuhde täytyy vielä muuntaa ilmvirtakorjatuksi. Korjaus perustuu lämpötaseeseen, jolloin poistoilmasta otettu lämpöteho asetetaan yhtä suureksi tuloilmaan siirtyvän lämpötehon kanssa. Kun ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet

oletetaan yhtä suureksi, saadaan tulo- ja poistoilman hyötysuhteille suhdeluku R . Luku R on lämmöntalteenottokennon läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. (25, s. 14–15)

$$R = \frac{q_t}{q_p} \quad (5)$$

R on tulo- ja poistoilmavirtojen suhde

q_t on tuloilmavirta, l/s

q_p on poistoilmavirta, l/s

Kaavaan on syötetty useimmiten käytetyn puhallinnopeuden mukaiset ilmavirrat. Ilmavirrat on mitattu ennen remonttia ja ne on esitetty kohdassa 4.2.4. Laskennassa käytettiin ilmavirtoina mitattua tuloilmavirtaa 47 l/s ja poistoilmavirtaa 52 l/s, jotka ovat nopeuden 2 mukaiset ilmavirrat. Suhdeluvuksi R saatiin 0,9.

Kun tiedetään LTO-kennon läpi kulkevien ilmavirtojen suhde, voidaan hyötysuhteet muuntaa vastaamaan tilannetta, jossa ilmavirrat olisivat yhtä suuret. Yhtä suurten ilmavirtojen tuloilman hyötysuhde $\eta_{t(R=1)}$ lasketaan alla olevan kaavan mukaisesti. (25, s. 15.)

$$\eta_{t(R=1)} = \frac{1+R}{2} \times \eta_t \quad (6)$$

$\eta_{t(R=1)}$ on yhtä suurten ilmavirtojen tuloilman hyötysuhde, %

R on tulo- ja poistoilmavirtojen suhde

η_t on tuloilman hyötysuhteiden keskiarvo, %

Kun kaavaan syötettiin suhdeluku $R=0,9$ ja tuloilman hyötysuhteiden keskiarvo $\eta_t=63$ %, saatiin ilmavirtakorjatuksi tuloilman hyötysuhteeksi 60 %.

Ympäristöministeriön monisteessa I22 ristivirtalevyllämmönsiirtimille on annettu tuloilman ilmavirtakorjatuksi hyötysuhteeksi 50–70 %. Tutkittu LTO-kenno sijoittuu siis vaihteluvälin keskelle.

Jotta koko vuoden aikana LTO-kennolla talteen otettu energiamäärä voidaan laskea, pitää tietää kennon vuosihyötysuhde. Se on luku, joka kuvaa vuoden aikana talteenotetun energian määrää. Vuosihyötysuhteena voidaan käyttää arvoa, joka on

60 % tuloilman ilmvirtakorjatusta hyötysuhteesta, mikäli vuosihyötysuhdetta ei ole tarkemmin määritetty. Tässä tapauksessa tarkempi vuosihyötysuhde on määritetty hieman alempana. Mikäli tarkempaa vuosihyötysuhdetta η_a ei määritetä, voidaan vuosihyötysuhde laskea alla olevan kaavan 7 mukaan. (25, s. 16)

$$\eta_a = 0,6 \times \eta_{t(R=1)} \quad (7)$$

η_a on vuosihyötysuhde

$\eta_{t(R=1)}$ on yhtä suurten ilmavirtojen tuloilman hyötysuhde, %

Kun edellä laskettu ilmvirtakorjattu tuloilman hyötysuhde 60 % sijoitetaan kaavaan, saadaan vuosihyötysuhteeksi 36 %. Näin ollen vuoden aikana LTO-kennon läpi ulos virtaavan ilman lämpöenergiasta saadaan talteen 36 %.

Tarkemman vuosihyötysuhteen määrittely pystytään suorittamaan Ympäristöministeriön monisteen 122 mukaan. Monisteessa määritellään vuosihyötysuhde lämmöntalteenotokennolla talteenotetun lämpöenergian ja rakennuksesta poistoilmavirtojen mukana poiskulkeutuvan lämpöenergian suhteena. Tarkka laskennan kulku on esitetty monisteessa 122, eikä sitä tässä työssä tarkemmin esitetä. Energiankulutuslaskelmia varten vuosihyötysuhde laskettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan tehdyllä laskentaohjelmalla, joka perustuu monisteen 122 laskentatapaan.

Laskimeen syötettyjen lämpötilojen ja edellä lasketun hyötysuhteen perusteella se määrittelee vuosihyötysuhteen. Laskin laskee LTO:lle vuosihyötysuhteeksi 53,8 %. Tätä lukua käytetään energiankulutuslaskelmissa.

7.2.4 Kodinkoneiden ja kodin sähkölaitteiden sähkönkulutus

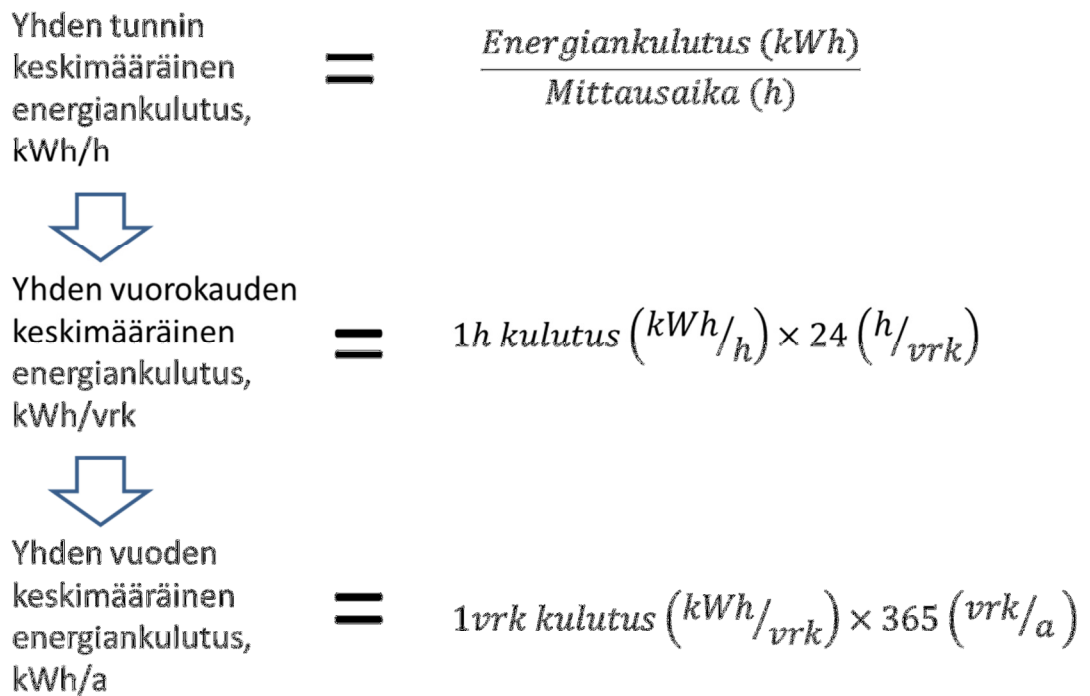
Osasta kiinteistön kodinkoneista ja sähkölaitteista mitattiin sähkönkulutusta koko rakennuksen sähkölaitteiden sähkönkulutuksen selvittämiseksi. Laitteista selvitettiin niiden sähkönkulutus mittausajanjakson aikana, mistä voidaan selvittää laitteen sähköenergian kulutus vuoden aikana. Laitteista selvitettiin myös suurin hetkellinen teho.

Taulukko 10. Kodinkoneiden sähkönkulutusmittaukset

	Suurin teho	Energiankulutus	Käyttöaika	Mittausaika
	W	kWh	h	h
kahvinkeitin+paahdin	1 273,1	0,8347	3,45	264,1
mikro+vedenkeitin	1 784,0	0,4609	264,1	264,1
jääkaappi	567,6	4,7870	264,1	264,1
pakastin	312,7	7,9490	264,0	264,0
viihdekeskus	291,6	10,926	264,0	264,0
pyykinpesukone	2 218,0	2,7820	249,0	262,9
yläkerran levysoitin	13,7	3,3120	262,9	262,9
tietokone (keskusyksikkö)	74,7	1,9868	262,9	262,9
tietokoneen näyttö	29,9	0,2483	142,57	142,57
astianpesukone	2 075,0	1,5943	1,795	142,78
kahvikone	1,4761	0,4693	6,393	142,78

Taulukkoon 10 on kerätty laitteesta poimittu mittausdata. Suurin teho -sarakeessa on ilmoitettu suurin hetkellinen teho watteina. Energiankulutuskohdassa on listattu laitteen tai laiteryhmän kuluttama energia mittausajanjakson aikana. Käyttöaika-sarakeessa on laitteen päälläoloaika tunteina mittausajanjakson aikana. Päälläoloaika tarkoittaa sitä aikaa, jolloin laite on kuluttanut vähänkin sähköä. Mittausaika tarkoittaa mittausajanjakson pituutta tunteina.

Mittautulosten perusteella on selvitetty laitteiden vuotuinen sähkönkulutus. Ensin on laskettu keskimääräinen sähkönkulutus yhden tunnin aikana. Se on saatu jakamalla energiankulutus mittausajalla. Kun yhden tunnin keskimääräinen kulutus tiedetään, tästä voidaan laskea keskimääräinen vuorokautinen kulutus kertomalla se vuorokauden tuntien määrällä. Vuorokautisesta kulutuksesta saadaan vuotuinen kulutus kertomalla vuorokautinen kulutus vuoden vuorokausien määrällä.



Kuva 30. Laskennan kulku

Kuvassa 30 on esitetty laskennan kulku. Laskennan laitekohtaiset tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Kodin sähkölaitteiden lasketut kulutukset

	Kulutus/h kWh	Kulutus/vrk kWh	Kulutus/a kWh
kahvinkeitin+paahdin	0,003	0,076	27,686
mikro+vedenkeitin	0,002	0,042	15,288
jääkaappi	0,018	0,435	158,781
pakastin	0,030	0,723	263,762
viihdekeskus	0,041	0,993	362,545
pyykinpesukone	0,011	0,254	92,698
yläkerran levysoitin	0,013	0,302	110,358
tietokone (keskusyksikkö)	0,008	0,181	66,201
tietokoneen näyttö	0,002	0,042	15,256
astianpesukone	0,011	0,268	97,815
kahvikone	0,003	0,079	28,793

Kaikkien laitteiden yhteiseksi vuosikulutukseksi saatiin laskelman mukaisesti noin 1 239 kWh. Laitteita, joiden sähkönkulutuksia ei mitattu olivat muita pieniä laitteita,

kuten pöytävalaisimia, tietokoneen lisälaitteita, pöytäradioita yms. Suurimmat yksittäiset sähköä kuluttavat laitteet, joita ei mitattu olivat liesi sekä saunan kiuas.

7.2.5 Tulo- ja poistoilmavirrat

Tulo- ja poistoilmavirtojen mittausta suoritettiin tarkistusmielessä. Tarkoituksena oli selvittää, ovatko ilmavirrat jostain syystä muuttuneet remontin aikana. Päätelaitteista selvitettiin niiden avaumat ja mitattiin paine-erot nopeudella 3. Mittaustulokset erosivat edellisistä hieman, mutta mittaustarkkuuden puitteissa voidaan ilmavirtojen todeta olevan samat kuin ennen remonttia. Laskelmissa käytetään ennen remonttia mitattuja arvoja sekaannuksen välttämiseksi.

7.2.6 IV-koneen puhaltimien sähkön ottoteho

Puhallinnopeuksia vastaavat jännitteet saatiin selville tarkastamalla ne koneen sähkökaapissa olevasta muuntajasta. Puhallinnopeuksia vastaavat sähkövirrat saatiin mittaamalla. Kun tiedetään sähkövirta I ja jännite U , voidaan sähköteho laskea kaavalla 8.

$$P = U \times I \quad (8)$$

U on jännite, V

I on sähkövirta, A

Kun kaavaan syöttää sähkövirran I ampeereina ja jännitteen U voltteina, saadaan tulokseksi sähköteho watteina. Taulukossa 12 on jokaista puhallinnopeutta vastaavat sähkövirrat ja jännitteet; sekä yllä olevalla kaavalla lasketut tehot.

Taulukko 12. Mitatut puhaltimien sähkötehot

Puhallinnopeus	Virta (A)	Jännite (V)	Teho (W)
1	0,3	60	18
2	0,4	100	40
3	0,6	140	84
4	0,9	180	162
5	1,2	230	276

Laskettu teho vastaa tulo- ja poistoilmapuhaltimen yhteensä ottamaa tehoa. Teho sisältää IV-koneen laitteiden sähköhäviöt.

7.2.7 Autopistokkeen sähköteho

Autopistokkeen sähkötehon mittauksella selvitettiin auton moottorin lämmittimen ottama teho. Lämmitin toimii koko ajan samalla teholla. Kun tiedetään sen teho, voidaan autopistokkeen sähköenergiankulutus laskea.

Auton lämmityslaitteiden ottamaksi tehoksi mitattiin 293,5 W. Käyttäjältä kyselemällä selvitettiin laitteen käyttöolosuhteet. Autoa lämmitetään, kun ulkona on alle +5 °C lämmintä. Lämpötilan pysyvyyssäyrästä selvitettiin aika, jolloin Vantaan sääolosuhteissa ulkona on alle +5 °C lämmintä. Vantaa sijoittuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan ilmastovyöhykkeelle 1, jossa ulkoilman vuotuinen keskilämpötila on +5 °C. Pysyvyyssäyrästä luettiin piste, joka vastaa edellä mainittua tilannetta ja tuloksena saatiin tuntimäärä 1600 h. Tämä tarkoittaa, että lämpötila on alle +5 °C 1600 tuntia vuodessa. Vuorokausina 1600 h vastaa 66,67 vuorokautta. Näin ollen on oletettu, että vuodessa kertyy 66,67 lämmityskertaa.

Autoa lämmitetään kerralla n. kaksi tuntia. Nyt kun tunnetaan auton lämmityskertojen lukumäärä n, lämmityskerran pituus t sekä lämmityslaitteen ottama teho P, voidaan vuotuinen tehonkulutus Q laskea alla olevan kaavan mukaisesti.

$$Q=n \times t \times P \quad (9)$$

n on auton lämmityskertojen lukumäärä

t on lämmityskerran pituus, h

P on lämmityslaitteen ottama teho, W

Kun kaavaan sijoitetaan yllä mainitut arvot, saadaan autopistokkeen arvioiduksi energiankulutukseksi 39 133,33 Wh vuodessa. Vuodessa auton lämmittämiseen kuluu siis 39,133 kWh. Energiankulutus on hyvinkin pieni, sillä autossa on käytössä vain moottorin lämmitin, ei sisätilan lämmitintä.

7.2.8 Makuuhuoneen äänitasot

Makuuhuoneesta mitattiin äänitasot kahdesta kohdasta. Keskeltä makuuhuonetta mitattiin 38,5 dB ja sängyn vierestä 35,5 dB yhden patterin puhaltimen käydessä. Tämä tarkoittaa puhallinpattereiden äänitason ylittävän huomattavasti makuuhuoneen ylimmän äänentasarajan, joka on annettu rakentamismääräyskokoelman osassa D2. Asuinhuoneiden äänitason pitäisi määräyksien mukaan olla alle 28 dB. Mitatut äänitasot tarkoittavat myös korvakuulolla huomattavaa äänentasoa, joka saattaa esimerkiksi herättää keskellä yötä. Puhallinpattereiden toiminnan ollessa käyttäjän säädettävissä, voi yöaikaiseen äänitasoon kuitenkin vaikuttaa.

Äänitason ollessa korkea asukkaat käyttävät pattereita ennakoidusti. Huone lämmitetään ennen nukkumaan menoa, jolloin nukkumaan mennessä patterit kytketään pois päältä. Ratkaisu on toimiva, mutta asumisen kannalta järjestely ei ole toivottu.

7.2.9 Kiinteät mittalaitteet

Taulukoissa 13–16 on esitetty kiinteiden mittalaitteiden mittaustulokset sekä seuranta-ajanjakson pituus tunteina.

Taulukko 13. Kiinteiden mittalaitteiden mittaustulokset

	Sähköenergian kulutus, kWh	Seurantajakson pituus, h
Lämmitys, olohuone	270,4	1007,5
Lämmitys, kuisti	25,3	1007,5
Lattialämmitys, kylpyhuone	107,3	1007,5
Maalämpöpumppuyksikkö	572	1007,5

Kuten taulukosta 13 voidaan huomata, kuluttaa maalämpöpumppuyksikkö kaikkine laitteineen huomattavasti enemmän sähköä kuin muut lämmityslaitteet. Maalämpöpumppuyksikössä on monta sähköä kuluttavaa komponenttia, joista sähkönkulutus muodostuu.

Taulukko 14. Mitatut käyntiajat

	Käyntiaika, h	Seurantajakson pituus, h
Kompressori	126	815,5
Ensiöpumppu	156	815,5
Lämmityspumppu	726	815,5
Käyttövesipumppu	14	815,5
Käyttöveden lisälämmitin	0	815,5

Taulukossa 14 on esitetty maalämpöpumpun eri komponenttien mitatut käyntiajat. Käyttövesipumpun ja käyttöveden lisälämmittimen lyhyet käyntiajat kertovat pienestä lämpimän veden kulutuksesta. Lämmityspumpun suuri käyntiaika johtuu siitä, että pumppu kierrättää vettä koko lämmitysjärjestelmässä. Tässä tapauksessa pumppu on käynyt lähes koko ajan, mikä tarkoittaa, että rakennusta on lämmitetty myös koko seurantajakson ajan.

Taulukko 15. Tuotetut energiat

	Tuotettu energia, kWh	Seurantajakson pituus, h
Koko järjestelmä	1711	1007,5
Lämmitys	1208	815,5
Käyttöveden lämmitys	125	815,5

Taulukossa 15 on esitetty järjestelmän tuottamat energiat. Koko järjestelmän energiantuottoa seurattiin hieman kauemmin kuin eriteltyä energiantuottoa. Suurin osa maalämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta käytetään rakennuksen lämmitykseen. Tämän lämmitysenergian lisäksi sähköiset lämmittimet kuluttavat sähköenergiaa. Pieni vedenkulutus näkyy myös pienenä siihen käytetyn energian määränä.

Taulukko 16. Mitatut vedenkulutukset

	Veden kulutus, l	Seurantajakson pituus, h
Päävesimittari	6070	1007,5
Lämminvesi	2000	1007,5

Lämmintä vettä kuluu noin kolmasosa kaikesta käytetystä vesimäärästä (taulukko 16). On kuitenkin huomioitava lämpimän veden mittarin mittaustarkkuus. Mitattuja arvoja ei voida pitää kovinkaan tarkkoina, mutta pitkän aikavälin mittauksena se antaa kuitenkin suhteellisen tarkan kuvan lämpimän veden kulutuksesta.

7.3 Energialaskelmat

Rakennukselle suoritettiin remontin jälkeen energialaskenta. Laskenta oli samanlainen kuin ennen remonttia, mutta se tehtiin vain yksivaiheisena. Laskennan kulku oli identtinen ennen remonttia tehtyjen laskelmien kanssa. Laskenta suoritettiin käyttämällä arvoja, jotka on saatu mittaamalla, laskemalla tai osittain olettamalla tai ne ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisia vakioarvoja.

Laskimeen syötettyjen arvojen laskentaa on esitetty luvussa 7.2 Mittaustulokset. Seuraavissa kappaleissa 7.3.1–7.3.4 on esitetty mittaustulosten jalostamista ja laskemista laskimeen syötettäviksi arvoiksi.

7.3.1 Ilmanvaihtolaitteiden sähköenergiankulutus

Laskimen kohdan Sähköjärjestelmä arvot on laskettu sähkölaitteiden sähkönkulutusmittauksien mittaustuloksista. Ensin on laskettu ilmanvaihtolaitteiden sähköenergiankulutukset, mikä sisältää ilmanvaihtokoneen puhaltimet sekä alapohjan tuuletuksen ja liesikuvun poistoilmapuhaltimet. IV-koneen puhaltimien sähkötehot on laskettu luvussa 7.2.6. Ilmanvaihtokoneen käyntiajat eri puhallinnopeuksilla on kerätty seurannalla, jossa jokainen normaalista poikkeava puhallinnopeuden käyttöaika on merkitty lomakkeeseen. Seurantalomakkeeseen merkityistä ajoista on laskettu tehostetun ilmavirran vuotuinen käyttöaika. Kun käyttöajat ja puhallintehot tiedetään, voidaan niistä laskea IV-koneen vuotuinen sähköenergian kulutus. Katolla olevien poistoilmapuhaltimien sähköenergiankulutus on tehty vastaavalla tavalla. Poikkeuksena on kuitenkin sähkötehot, sillä ne on arvioitu SK-tuotteen VILPE-poistoilmapuhaltimien tehonkulutuksia hyödyntäen (kuva 31). Näin meneteltiin, koska katolla ei käyty eikä tarkempaa tietoa puhaltimien mallista ollut.

Liesikuvun poistoilmapuhaltimen sähkötehoa arvioitiin VILPE E120P -huippuimurin teknisillä arvoilla, jotka on esitetty kuvassa 31 (26). Tarkasteltavaksi otettiin puhaltimen suorituskypiste, jonka poistoilmavirta on 65,7 l/s ja teho 51 W. Poistoilmavirta on riittävä liesikupuun, ja puhaltimen paineentuotto on samoin riittävä. Liesikuvun käyttöä seurattiin samalla tavalla kuin IV-konetta.

SUORITUSARVOT							
E120P/125/ER/700		60V	110V	135V	165V	180V	230V
q_{V1}	dm^3/s	8.5	38.8	52.0	65.7	71.6	85.2
p_{IF}	Pa	16	38	53	75	85	104
P_E	W	9	27.0	37.3	51.0	57.3	82.7
η_{IE}	-	0.015	0.054	0.073	0.097	0.106	0.107
n	1/min	643	1237	1552	1901	2044	2355
L_{W63}	dB	47.6	54.9	57.4	60.8	61.9	65.4
L_{W125}	dB	53.9	67.2	71.2	73.1	73.4	76.0
L_{W250}	dB	52.0	64.4	70.3	72.9	73.2	75.0
L_{W500}	dB	38.6	52.8	57.6	61.5	62.8	67.2
L_{W1000}	dB	32.6	52.4	56.3	60.9	62.2	66.9
L_{W2000}	dB	15.3	45.3	53.6	58.3	59.6	62.3
L_{W4000}	dB	*	28.2	37.1	46.5	49.4	55.7
L_{W8000}	dB	*	*	21.1	31.8	34.7	40.5
L_W	dB	56.7	69.4	74.1	76.5	76.9	79.4
L_{WA}	dB (A)	44.8	59.0	64.0	67.4	68.3	71.7

Kuva 31. Vilpe puhaltimien suoritusarvot (VILPE VENT)

Alapohjan tuuletuksen sähköteho arvioitiin käyttäen samaa huippuimuria kuin aikaisemmin. Tällä kertaa tarkastelupisteeksi valittiin piste, jossa poistoilmavirta on 38,8 l/s ja teho 27 W. Yleensä alapohjan tuuletuksen puhallin käy koko ajan. Tämä valittiin myös käyntiajaksi tässä tapauksessa.

Taulukossa 17 on esitetty lasketut sähköenergiankulutukset. Käyttöajat on laskettu seurantatietojen mukaisesti. Seurannan mukaan ilmanvaihtoa pidettiin joko nopeudella 3 tai 5. Ne on molemmat laskettu taulukkoon erikseen.

Taulukko 17. Lasketut sähköenergiankulutukset

	IV-kone	IV-kone	Poistopuhallin	Poistopuhallin
	Nopeus 3	Nopeus 5	Liesikupu	Radon-tuuletus
Sähköteho (w)	40	276	51	27
Ilmavirta (m3/s)	0,052	0,12	0,066	0,039
Vuorokautinen käyntiaika (h)	23,92	0,08	0,03	24
Vuotuinen käyntiaika (h)	8730	30	10,14	8760
Sähköenergiankulutus (kWh)	349	8	0,52	236,52

Puhaltimien tiedot on syötetty laskimeen puhallinkohtaisesti sekä sähköjärjestelmä-kohtaan. Puhallinkohtaisesti on merkitty molempia IV-koneen käyttönopeuksia vastaavat tiedot lämpimien tilojen taulukkoon. Tiedot on syötetty niin, että vuorokautiset käyntijat on laskelmien mukaiset. Muut käyntiaikatekijät on valittu niin että puhallin olisi koko ajan päällä. Näin saadaan laskettuja vuorokautisia käyntiaikoja vastaavat arvot laskelmiin. Laskimen Poistopuhallin-taulukkoon on merkattu vain liesikupu. Taulukon tiedoista laskin laskee ilmanvaihdon lämmitysenergiantarpeen. Tästä syystä alapohjan tuuletuksen puhallinta ei ole merkitty taulukkoon, sillä alapohjan kylmä ilma ei tule asuntoon sisälle, jolloin sitä ei tarvitse lämmittää. Lisäksi oletetaan, että asunnon läpi virtaavasta alapohjasta poistetusta kylmästä ilmasta ei johdu yhtään kylmyyttä asuntoon.

Koska laskin ei laske taulukon tiedoilla sähkönkulutuksia, täytyy sähkönkulutuksen laskemista varten syöttää laskimen sähköjärjestelmät-kohtaan ilmanvaihdolle ominaissähköenergiankulutus. Taulukon 17 sähköenergiat summaamalla saadaan kokonaisenergiankulutukseksi noin 594 kWh, joka vastaa laskimeen syötettävää ominaisenergiankulutuksen arvoa 4,32 kWh/brm²/vuosi.

7.3.2 Muiden laitteiden sähköenergiankulutus

Tässä tapauksessa muiden laitteiden sähköenergiankulutus sisältää kodin sähkölaitteiden, autopistokkeen ja Legalett-puhaltimen sähkönkulutukset. Legalett-puhallinyksikön sähköenergiankulutus on valittu laskettavaksi tässä siksi, että se ei ole ilmanvaihtolaite, vaikka puhallin onkin.

Legalett-puhallinyksikön energian kulutuksen laskentaa varten on poimittu lähtötiedot Legalett-puhallinyksikön esitteestä, jossa puhaltimen nimellistehoksi Φ_{puh} on mainittu 165 W. Puhaltimen käyntiaikaa ei ole mitattu. Laitteisto on kuitenkin säädetty niin, että lämpöä varataan lattiarakenteeseen yöaikaan, tarkemmin ilta yhdeksän ja aamu seitsemän välillä. Puhallin käy tarvittaessa myös muihin aikoihin. Tästä on päätelty puhaltimen keskimääräiseksi vuorokautiseksi käyntiajakasi lämmityskaudella t_{vrk} 8 tuntia. Laite käy vain lämmityskaudella, jolloin sen vuotuinen käyntiaika t_{vuosi} on myöhemmin esitetyn lämmityskauden pituus laskelman mukaisesti 292 vuorokautta

(luku 7.3.4). Alla on esitetty laskelma Legalett-puhallinyksikön vuotuisesta sähkökulutuksesta, joka voidaan laskea kaavalla 10.

$$Q_{\text{LEGALETT}} = \Phi_{\text{puh.}} \times t_{\text{vrk}} \times t_{\text{vuosi}} \quad (10)$$

Q_{LEGALETT} on legalett puhallinyksikön vuotuinen kulutus, kWh

Φ_{puh} on puhaltimen nimellisteho, W

t_{vrk} on vuorokautinen käyntiaika, h/vrk

t_{vuosi} on vuotuinen käyntiaika, vrk/a

Alla on esitetty laskennan kulku ja tulos.

$$Q_{\text{LEGALETT}} = 165 \text{ W} \times 8 \text{ h/vrk} \times 292 \text{ vrk/a} = 385 \text{ kWh/a}$$

Taulukkoon 18 on kerätty kaikkien muihin laitteisiin kuuluvien laitteiden vuotuiset sähköenergiankulutuslukemat. Sähkölaitteet tarkoittavat kaikkia kodin sähkölaitteita. Koska sähkömittaukset eivät käsittäneet kaikkia kodin sähkölaitteita, on mittaustuloksissa laskettuun summaan lisätty 15 %. Tämän on arvioitu kattavan loput sähkölaitteet, joita oli mm. liesi ja kiuas sekä muut kodin pienlaitteet. Taulukossa olevan autopistokkeen kulutuslukemat on laskettu luvussa Mittaustulokset.

Taulukko 18. Laiteryhmien/laitteiden sähkökulutukset

Laiteryhmä	Kulutus, kWh
Sähkölaitteet	1 425
Autopistoke	39
Legalett-puhallinyksikkö	385
Yhteensä	1 849

Kaikkien laityeryhmien vuotuinen kulutus on yhteensä 1 849 kWh (taulukko 18). Kun luku muokataan laskimeen syötettävään muotoon, jaetaan se rakennuksen bruttoalalla, jolloin laskimeen syötetään luku 13,45 kWh/brm²/vuosi.

7.3.3 Valaistuksen sähköenergiankulutus

Rakennuksesta ei mitattu valaistuksen sähköenergiankulutusta, joten sen syöttämiseksi laskimeen on lukema laskettava. Laskentaa varten on mitattu koko kiinteistön sähkökulutus sekä muut sähkökulutusmittaukset. Kun tunnetaan rakennuksen muut

sähköä kuluttavien laitteiden kulutukset, voidaan valaistuksen sähkönkulutus laskea kokonaiskulutuksesta vähentämällä.

Rakennuksen sähköenergian kokonaiskulutus mitattiin 6 päivän seurantajaksolla. Mittausjakso ajottui muiden seurantajaksojen kanssa samaan aikaan. Mittausajanjaksolla kokonaiskulutukseksi saatiin 347 kWh. Taulukossa 19 on esitetty muiden laiteryhmiä kulutukset samalla ajalla. Taulukko sisältää kulutukset 6 vuorokauden ajalta. Muille laiteryhmiä/laitteille on laskettu vastaavan ajan kulutukset aikasemmin mainittujen laskelmien tai mittaustulosten perusteella.

Taulukko 19. Valaistuksen sähköenergian kulutuslaskelma

Rakennuksen kokonaiskulutus	347	kWh
Sähkölaitteet	23	kWh
Lämmitys, olohuone	42	kWh
Lämmitys, kuisti	2,2	kWh
Lattialämmitys, kylpyhuone	11	kWh
Kaikki läm.järj. laitteet	80	kWh
IV-kone	5,8	kWh
Huippuimurit	3,9	kWh
Legalett-puhallinyksikkö	7,9	kWh
Autopistoke	0,6	kWh
Valaistus	153	kWh
Vuorokautinen kulutus	25	kWh
Keskim. kulutus tunnissa	1,1	kWh
Vuotuinen kulutus	583	kWh

Taulukkoon 19 on laskettu valaistuksen kulutus mittausjakson aikana. Se on saatu vähentämällä muiden laitteiden kulutus kokonaiskulutuksesta. Keskimääräinen kulutus tunnissa on laskettu jakamalla mittausjakson kulutus kuuden vuorokauden tunneilla. Jotta vuotuinen kulutus saadaan tietoon, on tiedettävä valaistuksen vuotuinen käyttöaika. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5, taulukossa 7.2, on annettu pientalon tyypilliseksi valaistuksen vuotuiseksi käyttöajaksi 550 h. Näin on saatu laskettua vuotuinen kulutus. Vuotuinen kulutus on vielä muunneltu laskimeen syötettävään muotoon jakamalla se brutto-alalla, jolloin laskimeen syötetään arvo 4,2 kWh/brm²/vuosi.

7.3.4 Lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhde

Kun lämmöntuottotapana on vain maalämpö, täytyy laskimeen syöttää maalämpöpumpun vuosihyötysuhde. Tässä tapauksessa, kun maalämpöpumppu ei tuota kaikkea lämmitysenergiaa, vaan rakennuksessa on myös sähkölämmittimiä, täytyy niiden vaikutus huomioida laskettuun lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhteeseen.

Maalämpöpumpun vuosihyötysuhde voidaan laskea, kun tiedetään sen tuottama lämpöenergia ja verkosta ottama sähköenergia. Nämä energiat on laskettu arvioimalla lämmityslaitteiden vuotuinen energiankulutus.

Aluksi on laskettu rakennukselle sen lämmityskauden pituus. Se tarkoittaa aikaa, jolloin rakennukseen tarvitaan lämmöntuottolaitteiden lämmitysenergiaa. Kun tämä aika tiedetään, voidaan laskea lämmityslaitteiston käyntiaika. Kun lämmityslaitteiston käyntiaika tiedetään, voidaan laskea maalämpöpumppuyksikön laitteiden sähköenergiankulutus. Rakennuksen lämmityskauden pituuden laskentaa varten täytyy tietää lämpöhäviötehot sekä ilmaislämpöjen tuottamat tehot.

Laskimen koonti-välilehdellä on erittely rakennuksen lämmitystehoista. Kun lasketaan lämmityskauden pituutta, huomioidaan huonelämmityksen sekä ilmanvaihdon tarvitsema teho. Lisäksi tarvitaan sisä- ja ulkolämpötilan välinen lämpötilaero. Teho lasketaan eteläisen lämpötilavyöhykkeen arvoilla, jolloin mitoitusulkolämpötila t_u on $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisälämpötila t_s $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämmityskauden pituuden laskennassa käytetty ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 11.

$$H = \frac{\Phi_{\text{huonelämmitys}} + \Phi_{\text{tuloilmapatteri}}}{t_s - t_u} \quad (11)$$

H on rakennuksen ominaislämpöhäviö, $\text{kW}/^{\circ}\text{C}$

$\Phi_{\text{huonelämmitys}}$ on huonelämmityksen teho, kW

$\Phi_{\text{tuloilmapatteri}}$ on ilmanvaihtokoneen tuloilman jälkilämmityspatterin teho, kW

t_s on sisälämpötila, $^{\circ}\text{C}$

t_u on ulkolämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Alla on kaavaan sijoitettu käytetyt arvot.

$$H = \frac{(10,991 + 1,949) \text{ kW}}{(21 - (-26)) ^\circ\text{C}} \approx 0,276 \text{ kW}/^\circ\text{C}$$

Yllä laskettu luku tarkoittaa, että jokaista sisä- ja ulkolämpötilan välistä astetta varten tarvitaan 0,276 kW lämmitystehoa. Jos talossa ei olisi sisäisiä lämmönlähteitä, pitäisi kaikki lämmitysenergia tuottaa lämmityslaitteilla. Tällöin lämmityslaitteet periaatteessa tuottaisivat lämpöä aina siihen asti, kunnes sisä- ja ulkolämpötilat olisivat samat. Mutta koska rakennuksen sisällä olevista laitteista, valaisimista, ihmisistä ja ikkunoiden kautta auringon säteilystä tulee rakennukseen lämpöä, lopettavat lämmityslaitteet toimintansa ennenkuin lämpötilat ovat samat. Kun tiedetään ilmaislämpöjen tuottama teho, voidaan määrittää ulkolämpötila, jossa lämmityslaitteita ei enää tarvita.

Ilmaislämpöjen tuottaman tehon laskentaan käytettiin helmikuun energiankulutustietoja. Koska edellisessä laskennassa käytettiin ulkolämpötilana teoreettista arvoa, valittiin ilmaisenergioiden tuottamat energiat helmikuulta, sillä se on kylmimpiä kuukausia. Helmikuulta poimittiin rakennuksen lämpökuormaenergia $Q_{\text{lämpökuorma}}$ laskimen Helsinki-välilehdeltä. Tämä luku kertoo rakennukseen sisään tulevan lämpöenergian, joka on muuta kuin säätölaitteiden ohjaaman lämmityksen rakennuksen sisälle vapauttama lämpöenergia. Tästä lämpöenergiasta voidaan laskea helmikuulle keskimääräinen ilmaislämpöjen lämmitysteho.

Helmikuussa muiden kuin säätölaitteiden ohjaaman lämmityksen rakennuksen sisälle vapauttama lämpöenergia on laskelmien mukaan 1 051,5 kWh. Jotta luvusta saadaan laskettua keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{ilmaislämpö}}$, se pitää jakaa helmikuun tunneilla t . Laskin käyttää laskelmissa helmikuulle 28 päivää, josta saadaan laskettua, kuinka monta tuntia helmikuussa on. Alla on esitetty tarvittava kaava 12 sekä kaavaan sijoitetut arvot. Tuloksena on saatu keskimääräinen ilmaislämpöjen lämmitysteho.

$$\Phi_{\text{ilmaislämpö}} = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{t} \quad (12)$$

$\Phi_{\text{ilmaislämpö}}$ on ilmaislämpöjen tuottama keskimääräinen lämmitysteho, kW

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ on rakennuksen lämpökuormaenergia, kWh

t on ajanjakson pituus, vrk

$$\Phi_{\text{ilmaislämpö}} = \frac{1051,5 \text{ kWh}}{28 \text{ vrk} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}}} \approx 1,565 \text{ kW}$$

Kun keskimääräinen ilmaislämpöjen tuottama teho on laskettu, voidaan laskea lämpötila, jolloin lämmitys päättyy. Kun tunnemme ilmaislämpöjen tuottaman tehon sekä tiedämme kuinka monta kilowattia tehoa tarvitsemme yhtä ulkolämpötila-astetta kohden, voimme laskea uuden sisä- ja ulkolämpötilan välisen eron. Se tarkoittaa sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroa, jonka ilmaislämpöjen tuottama teho kykenee kattamaan. Kun lämpötilaero on laskettu, se vähennetään sisälämpötilan arvosta. Näin saamme laskettua ulkolämpötilan, jossa lämmityslaitteiden toiminta päättyy. Alla on esitetty laskemiseen tarvittava kaava 13 sekä laskennan kulku.

$$\frac{\Phi_{\text{ilmaislämpö}}}{H} = t_s - t_u \quad (13)$$

$\Phi_{\text{ilmaislämpö}}$ on ilmaislämpöjen tuottama keskimääräinen lämmitysteho, kW

H on rakennuksen ominaislämpöhäviö, kW/°C

t_s on sisälämpötila, °C

t_u on ulkolämpötila, °C

$$t_s - t_u = \frac{1,565 \text{ kW}}{0,276 \text{ kW/}^\circ\text{C}} \approx 5,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_s - t_u = 5,7 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow t_u = t_s - 5,7 \text{ }^\circ\text{C} = (21 - 5,7) \text{ }^\circ\text{C} = 15,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Lämmityslaitteiden toiminta loppuu ulkolämpötilan ollessa 15,3 °C. Jotta asteluvusta saadaan aika, tarvitaan lämpötilan pysyvyyskäyrä. Se on käyrä, jossa on esitetty eri lämpötilojen vuotuisia pysyvyysaikoja eri vuotuisille keskilämpötiloille. Tästä kuvaajasta voidaan lukea aika, jolloin lämpötila on alle tuon lasketun ulkolämpötilan. Rakennuksen sijaintipaikan Vantaan keskimääräinen ulkolämpötila on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan +5 °C. Näillä tiedoilla kuvaajasta voidaan lukematarkkuuden rajoissa lukea rakennuksen lämmityskauden pituudeksi 7 000 h, joka tarkoittaa 292 vuorokautta tai 9,7 kuukautta. Lämpötilan pysyvyyskäyrä on esitetty liitteessä 19.

Nyt kun rakennuksen lämmityskauden pituus on arvioitu, voidaan laskea sähkölämmityslaitteiden ja maalämpöpumppuyksikön kuluttama sähköenergia. Seurannan perusteella on saatu laitteiden sähkönkulutus seurantajakson aikana. Kun mitattu sähköenergiankulutus jaetaan seurantajakson pituudella, voidaan määrittää

keskimääräinen kulutus tunnissa. Kun keskimääräinen tuntikulutus ja lämmityskauden pituus kerrotaan keskenään, saadaan laitteiden sähköenergiankulutus vuoden aikana.

Lasketut kulutukset on laskettu mittausajanjakson aikaisten ulkolämpötilojen mukaisesti. Todellisuudessa lämmittimien teho ei ole koko aikaa vakio, niinkuin laskelmissa on oletettu. Laitteiden kulutusten seuranta-aika oli 23.2.2012-5.4.2012. Ilmatieteenlaitos ilmoittaa Helsinki-Vantaan sääaseman keskimääräiseksi ulkolämpötilaksi maaliskuussa 2012 $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (31). Tämä lämpötila on lähellä keskimääräistä lämmityskauden ulkolämpötilaa ($+1\text{ }^{\circ}\text{C}$), jolloin lasketut kulutukset voidaan olettaa keskimääräisiksi kulutuksiksi koko lämmityskauden aikana.

Taulukko 20. Lasketut sähköenergiankulutukset

	Sähköenergian kulutus, kWh	Seurantajakson pituus, h	Kulutus tunnissa, kWh	Kulutus vuodessa, kWh
Lämmitys, olohuone	270,4	1007,5	0,268	1 879
Lämmitys, kuisti	25,3	1007,5	0,025	176
Lattialämmitys, kylpyhuone	107,3	1007,5	0,107	933
Maalämpöpumppuyksikkö	572	1007,5	0,568	3 974

Taulukossa 20 on esitetty sähkölämmittimien sekä maalämpöpumppuyksikön kaikkien laitteiden kuluttama sähköenergia vuoden aikana. Lattialämmitys on päällä ympäri vuoden, joten sen laskennassa on käytetty vuotuista tuntimäärää. Taulukon maalämpöpumppuyksikkö ei sisällä lämpimän käyttöveden lämmitystä lämmityskauteen kuulumattomina aikoina. Taulukon mukainen 3 974 kWh on lämmityskauden aikainen kulutus. Tähän kulutukseen on vielä lisättävä arvio lämpimän käyttöveden lämmityksestä aiheutuvalle sähköenergian kulutukselle lämmityskauden ulkopuolella.

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva energia on vähäistä johtuen sen pienestä kulutuksesta. Tämä käyttöveden lämmityksen aiheuttama lisäenergiankulutus on arvioitu lämpimän veden kulutuksesta laskemalla. Kun on mitattu lämpimän veden kulutus tiettyinä aikoina, siitä voidaan laskea keskimääräinen kulutus tunnissa sekä vuorokaudessa. Kun vuorokautinen kulutus tunnetaan, voidaan veden lämmittämiseen kulunut energia laskea. Tämän jälkeen voidaan kulunut sähköenergia laskea hyödyntämällä maalämpöpumpun oletettua vuosihyötysuhdetta, mikä tässä

tapauksessa tarkoittaa sähköverkosta otetun sähkön ja tuotetun lämpöenergian suhdetta. Vuorokaudessa kulunut energia voidaan laskea kaavalla 14 (27).

$$Q_{lkv} = \frac{\rho_v \times c_{pv} \times V_{lkv} \times \Delta T}{3600} \quad (14)$$

Q_{lkv} on lämpimän veden lämmitykseen käytetty energia vuorokaudessa, kWh

ρ_v on veden tiheys, kg/m³

c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

V_{lkv} on lämpimän veden kulutus, m³

ΔT on lämmitettävän veden lämpötilaero, K

3600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Alla on laskettu oletettu lämmityskauden ulkopuolinen veden lämmitykseen kulutettu sähköenergia, kun vuorokautiseksi lämpimän veden kulutukseksi V_{lkv} on laskettu 0,048 m³.

$$Q_{lkv} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times 0,048 \text{m}^3 \times 50 \text{K}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \approx 2,78 \frac{\text{kWh}}{\text{vrk}}$$

$$Q_{lkv, \text{lisäys}} = \frac{Q_{lkv} \times t}{\eta_{mlp}} = \frac{2,78 \frac{\text{kWh}}{\text{vrk}} \times (365 - 292) \text{vrk}}{2,5} \approx 81,2 \text{ kWh}$$

t on lämmityskauteen kuulumattomien vuorokausien lukumäärä

η_{mlp} on maalämpöpumpun oletettu vuosihyötysuhde RakMK D5:n mukaan

Kun maalämpöpumpun lämmityskauden aikaiseen sähkönkulutukseen lisätään yllä laskettu lämpimän veden tuotosta aiheutuva lisäkulutus, saadaan koko maalämpöpumppuyksikön vuotuiseksi sähkönkulutukseksi n. 4055 kWh.

Taulukossa 21 on esitetty maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia. Tuntikohtaiset arvot on laskettu seurantajakson pituuden 815,5 h mukaan. Lämmityskauden aikana tuotettu lämmitysenergia on laskettu lämmityskauden pituuden mukaan. Käyttöveden lämmitykseen tuotettu energia on laskettu koko vuoden ajalle. Koko järjestelmän vuodessa tuottama lämpöenergia on siis lämmityskaudella tuotetun lämmitysenergian ja koko vuoden aikana tuotetun käyttöveden lämmitysenergian summa.

Taulukko 21. Maalämpöpumpun vuodessa tuottamat energiat

	Tuotettu energia, kWh	Tuotto tunnissa, kWh	Tuotto lämmityskaudella, kWh	Tuotto vuodessa, kWh
Koko järjestelmä	1 333	1,635	11 442	11 712
Lämmitys	1 208	1,481	10 369	
Käyttöveden lämmitys	125	0,153	1 073	1 343

Maalämpöpumpun arvioitu vuosihyötysuhde voidaan laskea kun tiedetään sen tuottama energia sekä sähköverkosta otetun sähköenergian määrä. Maalämpöpumpun hyötysuhde lasketaan kaavalla 15.

$$\eta_{MLP} = \frac{Q_{MLP}}{W_{MLP}} \quad (15)$$

η_{MLP} on maalämpöpumpun hyötysuhde

Q_{MLP} on maalämpöpumpun tuottama energia, kWh

W_{MLP} on maalämpöpumpun sähköverkosta ottaman sähköenergia, kWh

Alla on esitetty laskennan kulku ja tulos.

$$\eta_{MLP} = \frac{11712 \text{ kWh}}{4055 \text{ kWh}} \approx 2,9$$

Lasketun mukaisesti maalämpöpumpun vuosihyötysuhde on noin 2,9. Jotta luvusta saadaan laskettua koko lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhde, täytyy vielä huomioida sähkölämmittimien osuus koko lämmitysenergiasta. Sähkölämmittimien vuosihyötysuhde on 1 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan.

Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen arviointiin käytetään energiankulutuksia koko seurantajakson ajalta. Sähkölämmittimien kulutukset on esitetty taulukossa 20 ja maalämpöpumppuyksikön tuottama energia taulukossa 21. Kokonaishyötysuhteen laskemiseksi käytetään laskettuja maalämpöpumpun sekä sähkölämmittimien tuottamia lämmitysenergioita. Sähkölämmittimien tuottama lämpöenergia on sama kuin niiden kuluttama sähköenergia. Kun lämmitysenergiat ja hyötysuhteet tiedetään, niistä voidaan laskea teoreettinen ostoenergian määrä. Hyötysuhde on tuotetun lämpöenergian ja tämän lasketun ostoenergian suhde. Alla on esitetty tarvittavat kaavat (16 ja 17) sekä laskelma lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhteesta.

$$Q_{osto} = \frac{Q_{MLP}}{\eta_{MLP}} + \frac{Q_{sähköläm.}}{\eta_{sähköläm.}} \quad (16)$$

$$\eta_{lämmitys} = \frac{Q_{MLP} + Q_{sähköläm.}}{Q_{osto}} \quad (17)$$

Q_{osto} on teoreettinen ostoenergian määrä, kWh

Q_{MLP} on maalämpöpumpun tuottama energia, kWh

η_{MLP} on maalämpöpumpun hyötysuhde

$Q_{sähköläm.}$ on sähkölämmittimien tuottama lämpöenergian määrä, kWh

$\eta_{sähköläm.}$ on sähkölämmitysjärjestelmän hyötysuhde

$\eta_{lämmitys}$ on lämmitysjärjestelmän hyötysuhde

$$Q_{osto} = \frac{11712 \text{ kWh}}{2,9} + \frac{2988 \text{ kWh}}{1} \approx 7026 \text{ kWh}$$

$$\eta_{lämmitys} = \frac{(11712 + 2988) \text{ kWh}}{7026 \text{ kWh}} \approx 2,1$$

Näin ollen koko lämmitysjärjestelmän eri lämmöntuottotavat osuuksien mukaisesti huomioiva hyötysuhde on 2,1. Kun tämä hyötysuhde syötetään laskimeen, se laskee kaiken lämmitykseen tarvittavan energian, joka sisältää maalämpöpumppuyksikön ja sähköisten lämmityslaitteiden kuluttaman sähköenergian.

7.3.5 Tarkennettu ennen remonttia olleen tilanteen energialaskelma

Viimeisin versio energialaskelmasta, joka oli tehty ennen remonttia olleelle järjestelmälle, tehtiin tässä vaiheessa. Tähän energialaskelmaan lisättiin yllä laskettuja, lähinnä sähkönkulutukseen liittyviä arvoja. Myös vedenkulutukseen ja LTO:n hyötysuhteeseen liittyviä arvoja tarkennettiin. Koska nuo muutetut arvot koskivat järjestelmiä, joita ei ollut remontissa muutettu, voitiin niihin liittyviä laskelmia ja mittauksia hyödyntää.

Laskelmiin tarkennettiin veden- ja sähkönkulutukseen liittyviä arvoja. Lämpimän veden kulutus saatiin mitattua tarkasti vasta remontin jälkeen, sillä sen mittaamiseen ei ennen remonttia ollut mittalaitetta. Oletuksena on, että asukkaiden vedenkulutukseen liittyvä käytös ei muuttunut remontin aikana. Näin ollen voitiin vuorokautiseksi lämpimän veden kulutukseksi lisätä $23,7 \text{ dm}^3/\text{henk}/\text{vrk}$, joka on laskettu koko rakennuksen vuorokautisesta kulutuksesta $0,048 \text{ m}^3$.

Sähköjärjestelmät-kohtaan valaistuksen ominaiskulutukseksi syötettiin laskelmien mukaan $4,2 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$. Kun muiden laitteiden kulutukset summattiin ja jaettiin rakennuksen bruttoalalla, saatiin laskimeen syötettäväksi arvoksi $13,5 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$.

Ilmanvaihtojärjestelmät eriteltiin taulukkoon aikaisemmin esitellyn mukaisesti niin että kaikki muut, paitsi alapohjan tuuletuksen puhallin, on syötetty erikseen taulukkoon huomioiden käyntiajat. Ilmanvaihdon ominaissähkönkulutukseksi syötettiin laskelman mukaisesti $4,3 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$.

7.3.6 Laskenta

Koska rakennuksen remontissa remontoitiin vain lämmöntuottojärjestelmää, ei ulkovaippaan tehty minkäänlaisia korjaustoimenpiteitä. Muutenkaan rakenteellisiin seikkoihin ei tehty muutoksia. Näin ollen laskimen Lämpöhäviöt-välilehdellä olevat arvot ovat samoja kuin ennen remonttia. RAK-LVIS-lähtötiedot välilehden kohdassa Rakennus, rakenteet on tietoja, jotka pysyvät muuttumattomina laskennassa.

Lämmitysjärjestelmä-kohdassa on muutettu annettuja arvoja. Pääasiallisen lämmöntuottotavan muuttuessa maalämmöksi, valitaan lämmöntuottolaitteen hyötysuhde vastaamaan kohteen tilannetta. Hyötysuhde on laskettu luvussa 7.3.4. Hyötysuhteeksi valitaan laskelmien mukainen arvo 2,1. Lämmitysjärjestelmän ominaislämpöhäviöt on valittu vastaamaan alakerran Legalett-lämmitysjärjestelmän toimintaa, sillä se on rakennuksen pääasiallinen lämmönluovutin. Näin ollen jakeluhäviöksi on valittu RakMk D5:n mukaan $5 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$, luovutushäviöiksi hyvin lämmöneristettyä lattiaa vastaava arvo $10,0 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$ ja säätöhäviöiksi $4,0 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$. Lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöteho on arvioitu RakMk D5:n kuvasta 6.1. Varaajatilavuuden ollessa 100 l ja varaajan veden keskilämpötilan ollessa

huomattavasti kuvaajan mukaista alhaisempi, arvioitiin lämpöhäviötehoksi 0,05 kW. Huonelämmitysjärjestelmän, ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän sekä käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhteet valittiin kohdan 9.1.2 mukaan.

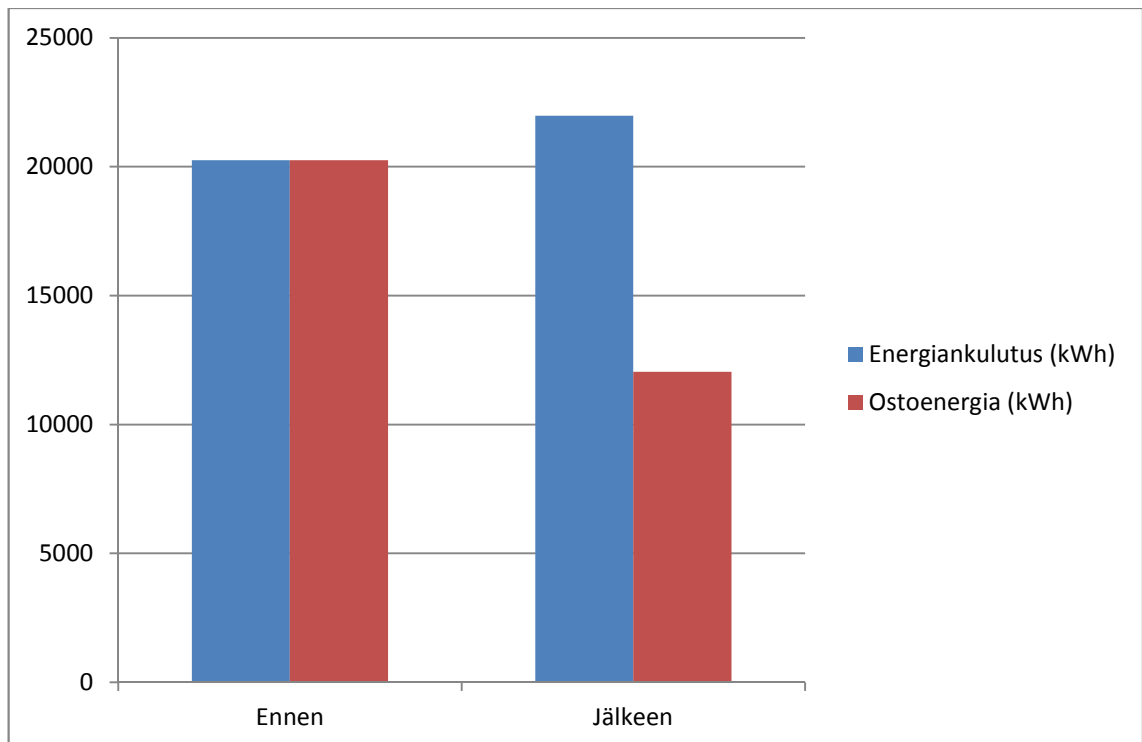
Käyttöveden kulutukseen ja lämpötiloihin liittyvät arvot ovat samoja kuin ennen remonttia. Käyttövesivaraajan lämpöhäviöteho valittiin kuvan 6.2 mukaan. Varaajan veden ja ympäröivän tilan lämpötilat oletettiin kuvan mukaisiksi, jolloin lämpöhäviötehoksi saatiin 0,12kW. Lämpimän käyttöveden kehityshäviöt sekä lämpimän veden saattolämmityksen ominaistehon arvot olivat samoja kuin ennen remonttia.

Sähkölaitteiden kohtaan syötetyt arvot on laskettu luvuissa 7.3.1-7.3.3. Valaistuksen sähkönkulutus $W_{\text{valaistus}}$ on lasketun mukaan 4,2 kWh/brm²/vuosi. Ilmanvaihdon sähkönkulutus $W_{\text{ilmanvaihto}}$ on 4,3, sillä taulukkoon syötetyistä tiedoista ei lasketa sähkönkulutusta. Muiden laitteiden sähköenergiankulutus $W_{\text{muut laitteet}}$ on laskelmien mukainen 13,5 kWh/brm²/vuosi. Sähköntuottolaitteiden hyötysuhde $\eta_{\text{sähkö}}$ on sama kuin aikasemminkin, eli 1.

Ilmanvaihtojärjestelmä-osioon syötettiin kaikkien puhaltimien eriteltyt tehotiedot esitettyjen laskelmien mukaisesti. Näistä tiedoista laskin laskee tarvittavan ilmanvaihdon lämmityksen.

7.3.7 Laskennan tulokset

Laskennan tulokset Helsinki-välilehdellä vaatii laskennan kulun tuntemista, jotta oikean tiedon osaa poimia taulukosta. Jostain syystä laskin ei määrittele erikseen lämmityssähköä, vain lämmitysenergiankulutuksen ja ostettavan lämmitysenergian. Tässä tapauksessa ostettava lämmitysenergia on sama kuin lämmitykseen käytetty sähkö, sillä maalämpöpumpun kuluttama sähkö sekä sähkölämmityslaitteiden kuluttama sähkö yhdessä muodostavat ostettavan lämmityssähkön. Laskennassa ei ole kuitenkaan tarkemmin eritelty kummankaan osan tarkkoja kulutuksia. Rakennukseen ostettavan sähkön määrän joutuu itse laskemaan summaamalla laitesähkön ja lämmitysenergian kulutukset.

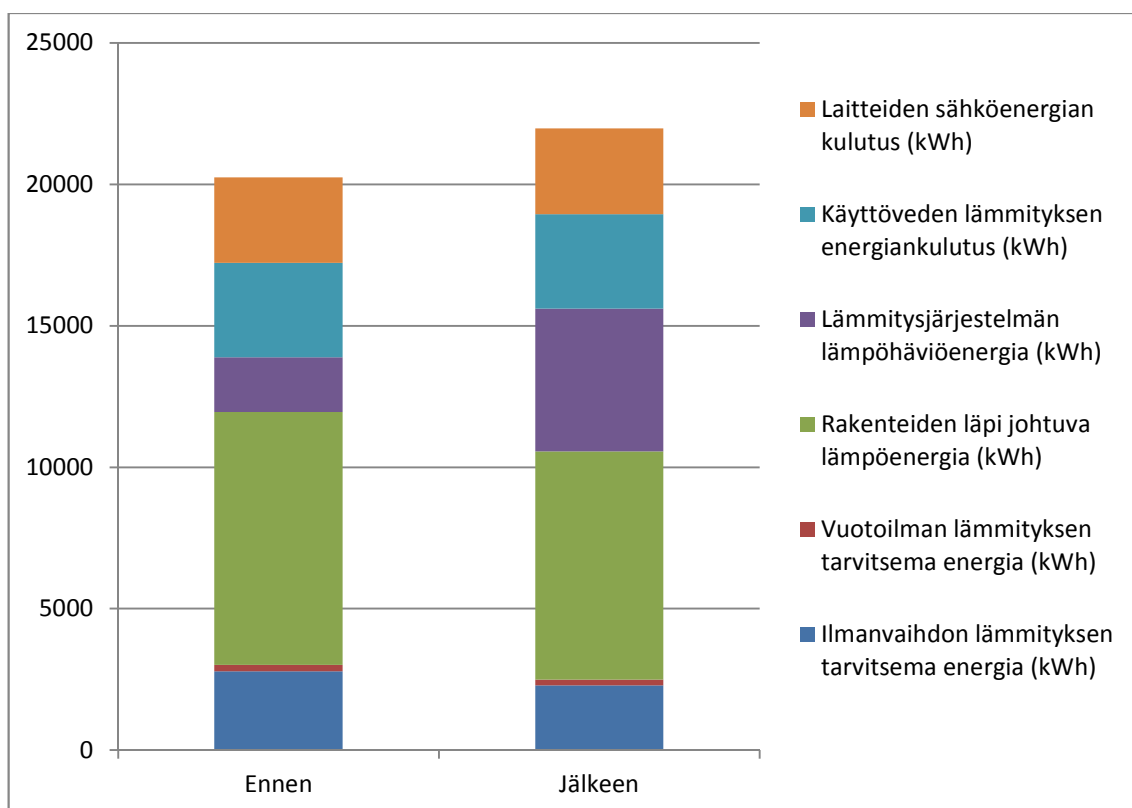


Kuva 32. Ostoenergiat ennen ja jälkeen remontin

Ennen remonttia vallinneen tilanteen energiankulutukseksi laskin laski 20 245,5 kWh ja remontin jälkeiseksi energiankulutukseksi 21 972,11 kWh. Energiankulutus on kasvanut ennen remonttia lasketusta, mikä johtuu lisääntyneistä lämmitysjärjestelmän häviöistä. Mutta vaikka energiankulutus kasvaakin hieman, pienenee ostoenergia huomattavasti. Ostettavaa sähköenergiaa tarvitaan remontin jälkeen vuosittain enää

$$9022,4 \text{ kWh} + 3025,0 \text{ kWh} = 12\,047,4 \text{ kWh},$$

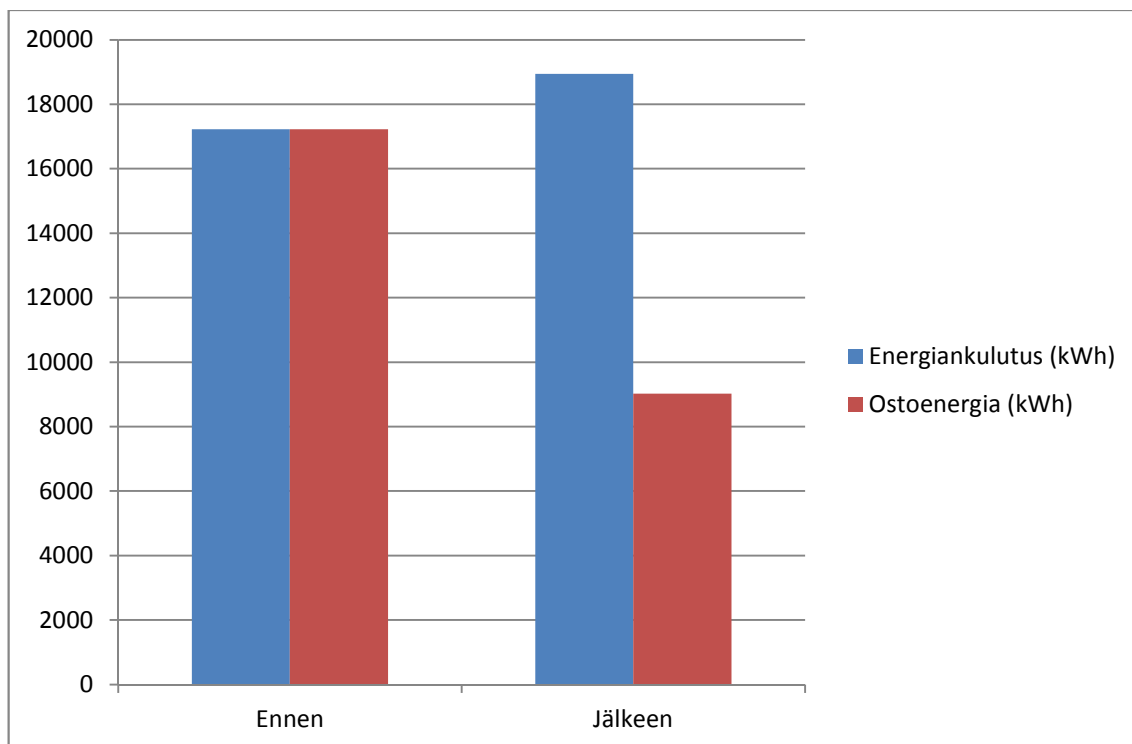
kun ennen remonttia sitä tarvittiin energiankulutusta vastaava määrä 20 245,5 kWh (kuva 32). Laskentaan syötetyt tiedot sekä Vantaan säävyöhykkeelle lasketut arvot on esitetty liitteinä 20 ja 21.



Kuva 33. Energiankulutusjakaumat

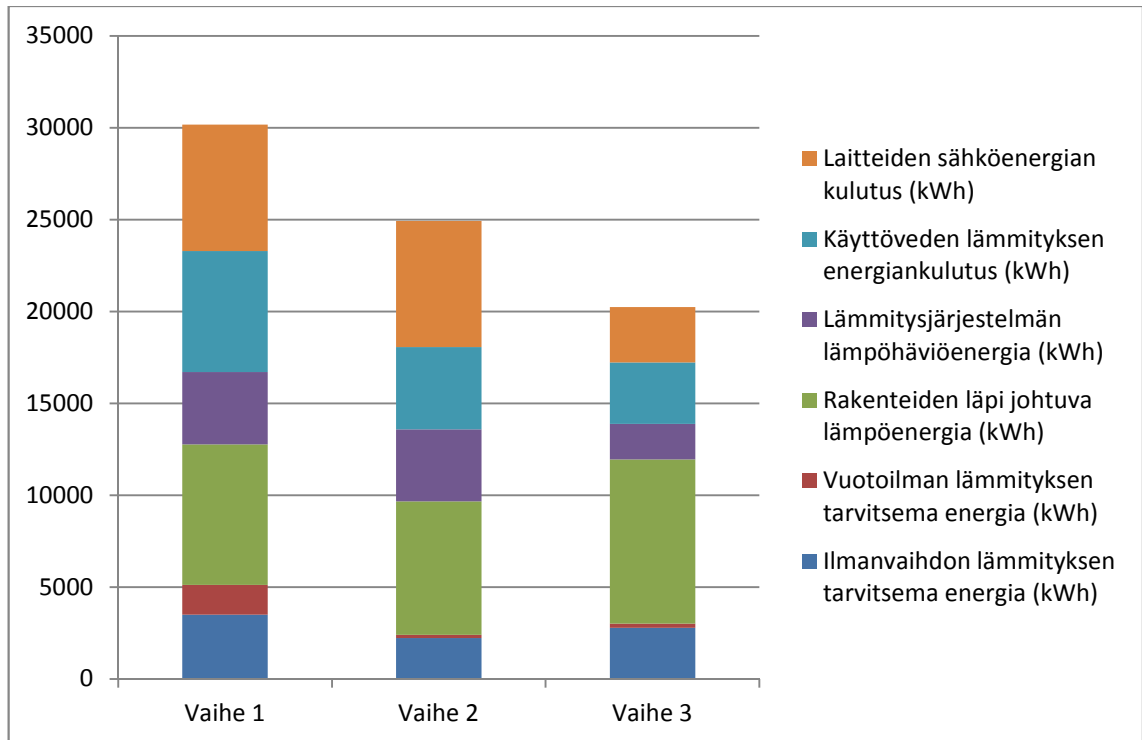
Kuvassa 33 on esitetty energiankulutusjakaumat ennen ja jälkeen remontin. Jakaumissaan huomioitu ilmaisen energian osuus suhteellisenä. Kuvasta huomaa nousseen kokonaisenergiankulutuksen. Lämmitysjärjestelmän muuttuessa vesikiertoiseksi, kasvaa järjestelmän häviöt, tässä tapauksessa ne lähes kolminkertaistuivat. Häviöiden laskenta RakMK D5:ssä on kuitenkin kovin suurpiirteistä, sillä laskennassa oletetaan koko talon käyttävän samaa lämmönjakotapaa. Tämän vuoksi todellisuudessa häviöt olisivat hieman laskettua pienemmät.

Kun tarkkaillaan hankkeen tavoitteiden mukaista lämmitysenergiankulutuksen pientymistä, saadaan ostettavan lämmitysenergian määrän laskuksi 47,6 %. Ennen remonttia ostettavaa lämmitysenergiaa oli 17 221 kWh. Remontin jälkeen ostettavaa lämmitysenergiaa on enää 9022 kWh. Näistä saadaan säästökseksi edellä mainittu 47,6 %. Lämmitysenergiatarkastelut on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Lämmitysenergiat

Kuten esitetyistä ennen remonttia olevalle järjestelmälle tehtyjen laskelmien tuloksista voi selkeästi huomata, vaikuttaa lähtötietojen tarkkuus huomattavasti energiankulutuksen laskennassa. Eri vaiheissa lasketut energiankulutukset on esitetty kuvassa 35. Jakaumaan on huomioitu ilmaisenergioiden osuudet suhteellisina. Aluksi laadittu oletukseen perustunut energialaskelma oli laadittu käyttäen lähtöarvoja, jotka rakennuksen koon ja rakenteiden perusteella oletettiin oikeiksi. Tällöin laskimeen syötetyt arvot poimittiin suunnitelmista, siltä osin kuin se oli mahdollista, ja loput poimittiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 vakioarvoista. Tällöin suurimpina väärin oletettuina arvioina olivat ihmisten lukumäärä, veden kulutus, IV-koneen tulo- ja poistoilmamäärät sekä rakennuksen ilmanvuotoluku. Taulukossa 22 on esitetty eri vaiheissa käytetyt laskelmilla, mittauksilla ja muilla keinoilla varmistetut laskennassa käytetyt tiedot.



Kuva 35. Eri vaiheiden energiankulutusjakaumat

Kun yllä mainitut seikat selvitettiin laskentaa varten joko mittaamalla tai muilla keinoin, laskelmasta saatiin jo paremmin paikkaansapitävä. Nämä asiat vaikuttavat erittäin suuresti rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen ja nämä tiedot yhdistettynä piirustuksista saatuihin tietoihin ja Suomen rakentamismääräyskokeelman osan D5 vakioarvoihin päästiin jo lähelle oikeita energiankulutuslukemia.

Taulukko 22. Eri laskentavaiheiden laskennassa käytetyt tiedot

Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3
Rakennuksen vaipan ala ja rakenneosien U-arvot	Rakennuksen vaipan ala ja rakenneosien U-arvot	Rakennuksen vaipan ala ja rakenneosien U-arvot
LVI-järjestelmien periaatteellinen toiminta	LVI-järjestelmien toiminta	LVI-järjestelmien toiminta
	Asukkaiden lukumäärä	Asukkaiden lukumäärä
	Tulo- ja poistoilmamäärät	Tulo- ja poistoilmamäärät
	Rakennuksen ilmanvuotoluku	Rakennuksen ilmanvuotoluku
		Laitteiden sähköenergiankulutus
		Veden kulutus
		LTO-kennon hyötysuhde

Kun syötettyjä arvoja tarkennettiin vielä lisämittauksilla, jotka kohdistuivat lähinnä laitteiden kuluttamaan sähköenergiaan, saatiin energiankulutuslukemat vielä tarkemmiksi. On kuitenkin huomioitava, että energiankulutuksia ei laskelmilla saada koskaan täysin oikeiksi. Laskenta perustuu oletuksiin ulkolämpötiloista, jotka vaikuttavat energiankulutukseen. Näin ollen tarkan energiankulutuslaskelman tekemiseen tarvittaisiin tarkat lämpötilatiedot eikä Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia keskiarvoihin perustuvia lämpötiloja.

Taulukko 23. Eri vaiheiden energiankulutukset

	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia (kWh)	6848,8	4565,9	4660,1
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia (kWh)	3161,0	367,1	367,1
Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia (kWh)	14929,3	14929,3	14929,3
Sisäiset lämpökuormat (kWh)	12167,4	10192,3	8000,1
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia (kWh)	3925,0	3925,0	1925,0
Käyttöveden lämmityksen energiankulutus (kWh)	6588,3	4459,1	3339,2
Laitteiden sähköenergian kulutus (kWh)	6875,0	6875,0	3025,0
Energiankulutus yhteensä (kWh)	30160,0	24929,1	20245,5

Tehtyjen laskelmien perusteella voidaan myös huomata käyttäjän tottumusten ja tapojen vaikutus energiankulutukseen. Taulukossa 23 on eri vaiheiden lasketut energiankulutukset. Ennen tarkentavia sähköenergian kulutusmittauksia laitteiden

sähköenergiankulutus oli lähes 6 900 kWh vuodessa. Kun laitteiden kulutusta ja/tai sähkötehoja seurattiin mittauksin, voitiin sähköenergiankulutuksen todeta olleen huomattavasti pienempi kuin vastaavan vakioarvon antama kulutus. Tämä siis tarkoittaa sitä, että käyttäjä voi kulutustavoillaan vaikuttaa selkeästi energiankulutukseen. Sama pätee käyttöveden lämmityksen energiankulutukseen. Vaiheessa 2 kulutus on poimittu RakMK D5:stä asukkaiden määrän mukaan, ja vaiheessa 3 kulutus on mittausten mukainen.

7.4 Energiankulutus jatkossa

Remontin yhteydessä järjestelmään asennettiin myös jäähdytysyksikkö, joka mahdollistaa makuuhuoneen puhallinpattereiden käytön jäähdytykseen. Tätä insinöörityötä tehdessä laitteistoa ei ollut vielä kytketty saati koekäytetty. Kun makuuhuoneen puhallinpatterit havaitsevat asetettua korkeamman huonelämpötilan ja jäähdytysyksikkö käynnistyy, tarkoittaa tämä koko maalämpöpumppujärjestelmän käynnistymistä. Näin ollen todellisuudessa rakennuksen kokonaisenergiankulutus on suurempi kuin tässä työssä on laskettu johtuen maalämpöpumpun kesäaikaisesta jäähdytyskäytöstä.



Kuva 36. Jäähdytysjärjestelmän huoneohjain

Rakennuksessa jäähdytetään vain yläkerran makuuhuonetta. Molemmat makuuhuoneen puhallinpatterit toimivat myös jäähdytyskäytössä. Huonelämpötilan anturi on sijoitettu makuuhuoneen oven viereen (kuva 35). Samasta laiteyksiköstä voidaan ohjata puhaltimien toimintaa.

EEMontti-hanketta varten seuranta jatketaan kattamaan koko vuoden. Näin ollen myös kesäaikainen jäähdytyksen energiankulutus saadaan mukaan laskelmiin. Tällä vuoden kestäväällä seurannalla saadaan myös huomattavasti parempi kokonaiskuva rakennuksen ympärivuotisesta energiankulutuksesta.

8 Palvelun kehittäminen

Osana EEMontti-hanketta tutkittiin palvelukonseptin onnistumista. Sitä varten haastateltiin remontin toteuttaneen yrityksen edustajaa. Remontin toteutusta on arvioinut asukas ja allekirjoittanut. Remontin vaikutuksia sisäilmastoon kartoitettiin kyselyllä, johon asukas vastasi ennen ja jälkeen remontin. Alan asiantuntijoilta on kysytty näkemyksiä maalämpöpumpuista pientaloissa. Lisäksi on tutkittu muuta maalämpöpumpppuihin liittyvää tutkimusta.

8.1 Palvelukonseptin kehittäminen

Näkemyksiä hankkeen konseptin onnistuneisuudesta kysyttiin Pistoke Oy:n edustajalta. Haastattelu suoritettiin puhelimitse 30.3.2012. Kyselyssä kysyttiin mielipiteitä kilpailun aikataulusta sekä muista kriteereistä, onnistumisista remontissa, prosessin vaiheista sekä yrityksen tulevaisuuden näkymiä vastaavanlaisten remonttien osalta. Kyselylomake on liitteenä 22.

Pistoke Oy piti aikataulua tiukkana. He eivät olleet suorittaneet remonttia vastaavanlaiseen järjestelmään aikaisemmin, mikä aiheutti suunnittelun ja toteutuksen kannalta lisää ajankäyttöä. Remontin aikana oli aikatauluongelmia myös laitetöimityksissä.

Muista kriteereistä kysyttäessä Pistoke Oy oli sitä mieltä, että referenssit ajoivat muiden kriteereiden yli. Voittaneen tarjouksen eriteltyt referenssit tuottivat raadin valinnassa paremman taloudellisen tuloksen. Kriteereissä ei ollut asetettu ollenkaan painoarvoa asentajien koulutukselle, laitteiston sertifikaateille yms. Lisäksi Pistoke Oy oli sitä mieltä, että tarjousten saamiseksi vertailukelpoiseksi olisi laskentaa varten pitänyt määrittää lähtöarvoja (esim sisä- ja ulkolämpötila, asukkaiden määrä), joiden mukaan mitoitus- ja kannattavuuslaskelmat tehdään.

Tulevaisuudessa Pistoke Oy tulee suorittamaan vastaavanlaisia remontteja, sillä ne kuuluvat yrityksen toimenkuvaan. Yritys tulee mahdollisesti toteuttamaan myös muut saman taloyhtiön vastaavanlaiset remontit. Lisäksi vastaavanlainen ratkaisu, jossa käytettiin puhallinpattereita ja lämpöjohtojen pinta-asennuksia, on ollut yleinen

ratkaisu sähkölämmitteisissä taloissa, joissa ei ole vesikiertoista lämmönjakoa. Uudehkojen talojen omistajat eivät halua rikkoa lattiaa, jolloin em. ratkaisu on hyvinkin toimiva.

Pistoke Oy:n mukaan lämpöjohtojen asentaminen Legalett-puhallinyksikölle sekä yläkerran puhallinpattereille onnistui odotettua helpommin. Toisaalta laitteiden alkuperäistä sijoittelua jouduttiin muokkaamaan, sillä alun perin tarkoituksena oli sijoittaa lämmitysvesivaraaja ilmanvaihtokoneen alle. Koska kone oli asennettu lattiatasoon, ei sen nostaminen onnistunut ja varaajalle piti etsiä uusi paikka.

Prosessin kehittämisestä kysyttäessä Pistoke Oy mainitsi kaikkien hankkeiden olevan erilaisia, jolloin valmiiden ns. pakettiratkaisuiden tekeminen on mahdotonta. Jokaiseen kohteeseen joudutaan räätälöimään omanlaisensa järjestelmä. Suurempana ongelmana Pistoke Oy näkee sen, että asiakkaiden on vaikea verrata tarjouksia. Heidän mukaansa alalta puuttuu standardi, joka tekee tarjoukset vertailukelpoiseksi ja asiakkaalle helpommin ymmärrettäviksi. Toisena ongelmana on luotettavan tiedon puute. Tutkimus- yms. tieto maalämpöpumpuista on vähäistä, jolloin mielikuvat vaikuttavat suuresti. Luotettavalle tiedolle tarvittaisiin yksi paikka, johon se kerätään. Luotettava tieto vaatii alalle standardeja ja ohjeita, jolloin tieto auttaisi kuluttajia ja se helpottaisi tarjousten ymmärtämistä ja laitteistojen vertailua.

8.2 Remontin toteutus

Remontin toteutusta arvioitiin asukkaan täyttämän kyselylomakkeen perusteella. Olen myös itse arvioinut remontin kulkua ja toteutusta läsnäoloni aikana tekemieni huomioiden perusteella. Vastasimme molemmat samoihin kysymyksiin. Kysymyslomake on esitetty liitteessä 23.

Kysymyslomakkeella kysyttiin aikataulun pitävyydestä. Asukkaan mukaan remontti ei pysynyt aikataulussa. Syynä tähän oli laitetoimitusten viivästyminen. Olen asiasta samaa mieltä. Laitetoimitusten viivästyminen aiheutti muutoksia suunniteltuun aikatauluun. Remontti olisi pysynyt suurella todennäköisyydellä aikataulussa, jos laitetoimitukset olisivat olleet ajoissa. Remontin kestoä asukas piti liian pitkänä. Tosin tiedottamista remontin etenemisestä ja työvaiheista asukas piti hyvänä. Remontin

aiheuttamina asumishaittoina mainittiin varastotilasta tyhjennettyjen tavaroiden säilöminen. Ne jouduttiin säilömään saunaan ja muihin asumistiloihin. Asukas kuitenkin kiitteli vaiheittain tehtyä työtä, jolloin lämmönjaon katkaisu ei aiheuttanut ongelmia. Itse myös pidin remontin kestoa hieman liian pitkänä laitetoimitusten viivästymisien takia. Tietoa työvaiheista ja aikataulusta sai riittävästi asentajien palvelualttiin käyttäytymisen ansiosta.

Työturvallisuutta asukas piti hyvänä kaikilta osin. Työturvallisuuteen kiinnitettiin huomiota ja turvallisuustoimet olivat riittäviä. Myös työturvallisuutta parantavia varusteita käytettiin tarpeen mukaan. Mielestäni työturvallisuus oli hyvin huomioitu. Melua aiheuttaneissa töissä käytettiin kuuloa suojaavia laitteita ja muita suojavarusteita käytettiin tarvittaessa.

Remontinaikaiseen siisteyteen asukas oli tyytyväinen. Työmaata hän piti siistinä, ja siisteyteen kiinnitettiin huomiota. Myöskään työstä aiheutunut lika ei ajautunut häiritsevästi työmaan ulkopuolelle. Lisäksi työmaa siistittiin hyvin remontin jälkeen. Asumishaittaa epäsiisteydestä ei ollut suuressa määrin. Siisteystaso työmaalla oli mielestäni hyvä. Pölyä ja muuta likaa aiheuttaneiden työvaiheiden jälkeen lika poistettiin. Muutenkin työmaa pidettiin siistinä ja siihen kiinnitettiin riittävässä määrin huomiota.

Siisteyskysymykset tarkennettiin kattamaan erityisesti pölyä. Asuintiloihin on kantautunut pölyä siedettävissä määrin ja se on aiheuttanut pieniä epämukavuuksia asumisessa. Tämä on johtunut makuuhuoneen pattereiden ja lämpöjohtojen asennuksesta. Muuten pölyn muodostumiseen ja sen poistamiseen on kiinnitetty riittävästi huomiota. Mielestäni pölyn muodostumiseen ja hallintaan kiinnitettiin hyvin huomiota. Asukkaan mainitsemia pölyhaittoja ei omiin silmiini kantautunut johtuen toki siitä, että käynnit työmaalla oli vain hetkellisiä. Näin ollen asumishaittoja on vaikea huomata.

Melusta ei aiheutunut asukkaalle juurikaan haittaa. Meluhaittoista ilmoitettiin asukkaalle erinomaisesti ja työntekijät oli suojattuna melulta. Työmaalta on kantautunut asukkaan korviin häiritsevää melua, mutta erittäin pienissä määrin. En havainnut minkäänlaisia

meluongelmia. Tämä johtuu siitä, että työmaakäyntien aikana työ usein seisahtui hetkeksi keskustelun takia.

Työn jälkeen asukas on kokonaisuudessaan tyytyväinen. Lopputulos vastasi hyvin asukkaan odotuksia, ja tietoa ja koulutusta uudesta järjestelmästä tarjottiin hyvin. Ainoa työn jälkeen liitetty puute oli huoneistoon kantautunutta ääntä pitänyt kiertovesipumppu, jonka äänentuotto ei johtunut asennuksesta vaan itse pumpusta. Pumppu vaihdettiin asiakkaan pyynnöstä, mikä auttoi tilannetta. Pidin työn jälkeä hyvänä. Putkitukset oli siististi tehty, ja asennusjälki oli muutenkin hyvää. Asuintiloissa olleet lämpöjohdot asennettiin siististi suojalistan sisään. Teknisen tilan putket jäivät näkyviin, mutta asennustyö on siistiä ja kestää katseita.

Oikeastaan ainoa asukasta harmittanut seikka oli remontin viivästyminen. Kuitenkin asentajan huolellista työtä kiitellään ja lopputulosta pidettiin kaikin puolin hyvänä. Asentaja piti asukkaat hyvin ajan tasalla remontin etenemisestä ja huomioi asukkaiden toiveita niin pyydettyä. Lisäksi hän vastasi kysymyksiin kattavasti ja selkokielellä sekä antoi hyvän käyttökoulutuksen uuteen laitteistoon. Mielestäni asentaja oli erittäin yhteistyöhaluinen ja avulias. Kysymyksiin vastattiin hyvin, ja myös minä sain käyttökoulutuksen. Tekninen tuntemus asentajalla oli hyvä ja sama asentaja hoiti niin putkiasennukset kuin sähkötyötkin. Lisäksi maalämpöpumpun toiminta oli hyvin tiedossa. Asentaja teki kaiken kaikkiaan hyvää työtä.

8.3 Vaikutukset sisäilmastoon

Remontin vaikutusta sisäilmastoon ja asumismukavuuteen arvioitiin kyselylomakkeella, jonka asukas täytti ennen ja jälkeen remontin. Kyselylomakkeella kysyttiin mielipiteitä järjestelmien toiminnasta sekä erilaisista sisäilmasto- ja asumisviihtyvyyshaitoista. Kyselylomakkeet ovat liitteenä 24.

Ennen remonttia asukas oli ollut hyvin tyytyväinen ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen ja kohtalaisen tyytyväinen lämmitysjärjestelmän toimivuuteen. Asunnossa asukasta on vaivannut liian matala huonelämpötila, lattian kylmyys sekä veto alakerran makuuhuoneessa. Ongelmat ovat esiintyneet eritoten talvella kovilla pakkasilla. Asukas on lisännyt kommenttina, että makuuhuoneeseen tullaan asentamaan lisäpatteri.

Ilmanvaihtoa on asukkaalla itsellään mahdollisuus säätää. Sen kerrotaan olevan päällä koko ajan ja sitä säädetään saunan käytön jälkeen. Tuuletusta asukas ei koskaan käytä. Myöskään heikosta sisäilmasta johtuvia oireita ei asukas ole havainnut.

Remontin jälkeiset vastaukset ovat identtisiä ennen remonttia annettujen kanssa. Ainoat ongelmat ovat olleet alakerran makuuhuoneen alhaisesta lämpötilasta talvella johtuvat ongelmat. Ongelmat johtuvat Legalett-lattialämmityksestä, johon ei remontissa puututtu siihen vaikuttavilta osin. Myöhemmin asennettava sähköpatteri korjaa tilannetta. Remontti ei aiheuttanut muutosta sisäilmastossa. Tosin jo ennen remonttia se oli hyvällä tasolla.

8.4 Päärahoittajan edustajan näkemykset

Suomen Itsenäisyyden Juhlarahaston (SITRA) energiaohjelman johtavaa asiantuntijaa Jarek Kurnitskiä haastateltiin 9.5.2012. Kurnitski on toiminut EEMontti-hankkeessa asiantuntijaraadin puheenjohtajana. Haastattelulla pyrittiin selvittämään odotuksia ja näkemyksiä EEMontti-hankkeesta.

SITRAn mukaan tärkeimpiä tavoitteita EEMontti-hankkeessa on saada pientalojen energiatehokkuuskorjaukset sujuvammiksi. Nykyään pientalojen, joissa on vesikiertoinen lämmönjako ja lämmönlähteenä esimerkiksi öljy tai sähkö, energiatehokkuuskorjaukset hoituvat markkinavetoisesti, sillä tarjolla on remontille hyviä ratkaisuja, maltillisia hintoja sekä osaamista. Ongelmana on lähinnä vaikeammin korjattavat rakennukset, joissa ei esimerkiksi ole vesikiertoista lämmönjakoa. Näissä tapauksissa asukkaat eivät tiedä mahdollisia vanhan korvaavia järjestelmiä, myös palveluiden tarjoajilla on näistä vähän kokemusta. Markkinoiltakaan ei löydy näihin kovin helposti sopivia tuotteita. Näihin ongelmiin pyritään löytämään ratkaisu EEMontti-hankkeen avulla. Lisäksi palveluntarjonnan kehittyminen helpommaksi ja edullisemmaksi auttaa kuluttajaa. Tässä asiassa voitiin huomata kehitystä jo kilpailun aikana, sillä erään kohteen hintaa saatiin laskemaan purkamalla yrityskonsortio, jolloin jäljelle jäi yksi yritys, joka vastasi kaikesta. Näin hinta saatiin huomattavasti edullisemmaksi.

Hankkeen onnistumiseksi vaaditaan palveluntarjoajilta hyviä ratkaisuja. Sen lisäksi, että tarjolla on hyviä ja toimivia ratkaisuja, tarvitaan valtion kassasta avustusta, jotta kuluttajat ryhtyisivät remontteihin. Nykyään nämä avustukset ohjautuvat näihin ns. helpommin korjattaviin kohteisiin, kun niitä pitäisi ohjata näihin vaikeampiin. Onnistumisen edellytyksiin kuuluu myös hankkeen saaminen kaikkien tietoon. Ilman markkinointia ja median apua eivät tulokset kantaudu niitä tarvitseville kuluttajille.

Kohteiden korjauksiin jätettyjen tarjousten määrä yllätti Kurnitskin. Odotukset olivat huomattavasti suuremmalle määrälle tarjouksia. Hänen mielestään tarjousten vähäinen määrä kertoo hyvästä työtilanteesta alalla. Lisäksi se kertoo siitä, että helpommin korjattavia kohteita on tarpeeksi markkinoilla, jolloin näihin vaikeampia ratkaisuja vaativiin kohteisiin on vaikeampi löytää tekijöitä.

Haastatteluhetkellä tuloksia remonttien vaikutuksista ei ollut vielä juurikaan saatavilla. Tosin jo 50 %:n säästö energiakuluissa on Kurnitskin mielestä hyvä saavutus maalämpöpumpulla. Haastatteluhetkeen mennessä oli kuitenkin ilmennyt hyvää innovatiivisuutta. Tämä raadin kaipaama innovatiivisuus ei ollut niinkään tarkoitettu uusien laitteistojen kehittämiseen vaan uusien ja nopeiden asiakasta miellyttävien asennustapojen ja remonttiprosessin läpiviemiseen liittyvää kekseliäisyyttä. Tosin Saviontien kohdalla jopa laitteistossa oli havaittavissa innovatiivisuutta. Laitteisto on hieman normaaleista ratkaisuista poikkeava, ja se mahdollistaa muiden järjestelmien myöhemmän asentamisen. Yhteen järjestelmään oli saatu yhdistettyä parannettu ilmanvaihto sekä lämmityskuluja laskeva lämmitysjärjestelmä.

9 Maalämpöpumppualan nykytilanne sekä tutkimus Suomessa

9.1 Asiantuntijahaastattelut

Maalämpöpumppualan nykytilan kuvan saamiseksi insinööriyötä varten haastateltiin kahta alalla toimivaa asiantuntijaa. Toinen heistä on SITRA:n energiaohjelman johtava asiantuntija Jarek Kurnitski, joka on myös toiminut EEMontti-hankkeessa asiantuntijaraadin puheenjohtajana. Hänen näkemyksiään alan nykytilasta kysyttiin samassa haastattelutilanteessa kuin kysymykset EEMontistakin. Toinen haastateltu asiantuntija on Motiva Oy:n asiantuntija Sami Seuna. Seunaa haastateltiin 16.5.2012. Häntä haastateltiin, koska hänellä on kokemusta kuluttajien hankkimista lämmitysjärjestelmistä sekä niiden kanssa havaituista ongelmista. Hän on toiminut myös Motivan erilaisten valinta- ja apuohjelmien kehityksessä maalämpöpumppujen osalta.

Molempien haastateltujen asiantuntijoiden mielestä nykyisin pientaloihin markkinoidut maalämpöpumput ovat pääsääntöisesti hyvin toimivia laitteita. Nykyään jo noin puolet uusista pientaloista valitseekin lämmitysmuodokseen maalämmön. Osuutta selittää osiltaan määräykset, jotka ohjaavat uusien rakennusten lämmöntuottoa uusiutuviin energialähteisiin. Nykyisin laitteet ovat kehittyneet valtavasti ja laitteiden kehitystä on ohjannut ilmalämpöpumppujen suosio ja kehitys. Laitteiston kaikki komponentit, kuten pumpput ja kompressorit, ovat kehittyneet paljon, mikä nostaa laitteiston hyötysuhdetta. Suurin osa maalämpöpumpun hankkineista kuluttajista on tyytyväisiä hankintaansa. (28.; 30.)

Osalla maalämpöjärjestelmiä hankkivista kuluttajista on harhaluuloja maalämpöpumpun kyvystä tuottaa lämmintä käyttövedtä. Nykyiset pumpput pystyvät jo tuottamaan suurimman osan lämpimästä vedestä ilman lisäsähköä. Tulistuseläimönvaihtimella varustetuissa malleissa lämpötilat nousevat riittävän korkeaksi käyttöveden lämmittämiseen. Nykyään maalämpöpumput ovat tältäkin osin toimivia laitteita. Ongelmallisimpia ovat olleet lähinnä ilma-vesi-lämpöpumput, joiden toimivuus ei vielä tällä hetkellä yllä maa-vesi- ja ilma-ilma-lämpöpumppujen tasolle. Näissä laitteissa on havaittu toiminnallisia puutteita, mutta nämäkin laitteet kehittyvät kovaa vauhtia. (28.; 30.)

Nykytilanne, jossa maa- ja ilmalämpöpumppujen menekki ja tietous on suurta, aiheuttaa laitevalmistajille kilpailua, joka taas johtaa laitteistojen kehitykseen. Nykyisellään laitteet ovat suurilta osin lähes samantehoisia, mikä helpottaa kuluttajaa valinnassa. Joidenkin pienempien valmistajien pumpput eivät tosin yllä suurempien valmistajien suoritusarvoihin. (28.)

Nykyään kuluttajien tietoisuus eri rakennusten kohdekohtaisista eroista, jotka vaikuttavat esimerkiksi mitoituksiin, on lisääntynyt. Tosin vieläkin rakennuksen energiankulutuksen laskentaan käytetyt arvot, esimerkiksi lämmitystarvelukuja, ei vieläkään pääosin ymmärretä. Kuitenkin maalämpöpumppuihin ja niiden hankintaan liittyvä tietous on lisääntynyt kuluttajien joukossa. (30.)

Maalämmölle on vaikea löytää tasaväkistä kilpailijaa uusiutuvien energialähteiden joukosta. Maalämpöpumppujärjestelmä on suhteellisen ylivoimainen ja esimerkiksi pellettikattilat eivät ole yleistyneet pientaloissa, tosin suuremmissa laitoksissa niitä on käytössä. Kerrostaloissa yleistä kaukolämpöä on harvassa paikassa tarjolla pientaloalueille, joten sekin on Suomessa harvinaista. Nykypäivänä öljy- ja sähkölämmitys on suuresti vähentänyt osuuttaan uusissa pientaloissa. Näin ollen maalämpöpumppujärjestelmä on suhteellisen ylivoimainen tällä hetkellä. (28.)

Maalämpöpumppujärjestelmien mitoitus on kuitenkin vielä erittäin haastavaa. Alalla käytettyjen laskentaohjelmien käyttämät laskenta-arvot saattavat olla vanhentuneita tai epärealistisia, joista voi ilmetä ongelmia mitoituksessa. Myös lämmönkeruupiirin miotitus on monessa tilanteessa haastavaa ja sen alimitoituksesta tai jäätymisestä saattaa seurata ongelmia. Joissain tapauksissa on lämmönkeruupiiriä saatettu lyhentää halvemman hankintahinnan saamiseksi, joka myös saattaa johtaa lämmönpuutteeseen tai lämpökaivon jäätymiseen. Mitoitusongelmat ovat kuitenkin alalla harvinaisia ja niiden vaikutuksia ei välttämättä edes huomata. Pääosin mitoitukset onnistuvat hyvin. (30.)

Tuleviin 0-energiataloihin maalämpöpumput soveltuvat hyvin. On myös syytä muistaa, että vaikka puhutaan 0-energiatalosta, siellä tarvitaan silti lämmitystä. Maalämpöpumppu yhdistettynä aurinkopaneeliin on Jarek Kurnitskin mukaan erittäinkin

toimiva yhdistelmä näihin taloihin. Näitä varten laitteiden koko tulee mahdollisesti pienentymään ja uudet invertteriteknikalla toimivat maalämpöpumput yleistyvät. Invertteriteknikalla toimivat pumput mahdollistavat paremman toiminnan pienimillä tarvittavilla energiamäärillä. Laitteet, jotka eivät ole invertteriteknikalla, eivät välttämättä sovi 0-energiataloihin, sillä niiden lämpökertoimet heikkenevät, kun tuotetaan pieniä määriä lämpöenergiaa. (28; 30.)

Kysymyksiin laitteiden vertailukelpoiseksi saamisesta Jarek Kurnitski kertoi tämän olevan Suomessa kehitteillä. Nykyisin laitteiden suorituskkyky saatetaan kertoa monella eri tavalla ja eri suorituspisteissä. Tästä tiedosta ammattilainen osaa erotella maalämpöpumppujen suorituskkyvyt, mutta kuluttajalle se on haastavampaa. Pumpuille on olemassa myös energialuokitusta vastaava luokitus, joka kirjaintunnuksella ilmoittaa laitteen hyötysuhteesta. Tämä merkintätapa ei kuitenkaan ole kovin tarkka. Sami Seuna mainitsi Ilmastoinfon tarjoavan nykyään kuluttajille palvelua, jossa he voivat kysyä apua tarjousten saamiseksi paremmin vertailukelpoiseksi juuri omaan kiinteistöönsä. (28; 30.)

Jarek Kurnitskin mielestä urakoitsijoiden ja palveluntarjoajien osaaminen alalla on riittävää. Ongelmana on, että ala on ylikuumentunut ja sinne pyrkii paljon toimijoita, joiden osaamistaso ei ole riittävä. Jotta kaikki alalla olevat toimijat olisivat osaavia, tarvitaan koulutusta ja sertifiointia. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry (SULPU) ajaa asiaa ja järjestää koulutusta ja asentajien sertifiointia. Useimmat reklaamatioista johtuvat asennusteknisistä asioista, kuten asennusvirheistä. Harvemmin reklamoidaan laitteiden mitoitusvirheistä. Tämä kertoo osaltaan laitetoimittajien pätevyydestä mitoituksen suhteen sekä mitoitusväkalujen toimivuudesta. (28.)

Sami Seuna painotti urakoitsijoiden osaamista juuri saneerauskohteisiin, joissa vanhaan järjestelmään liitetään maalämpöpumppu. Tällöin laitteiden ja järjestelmien toiminta pitää tuntea hyvä lopputuloksen saamiseksi. Kysynnän kasvaessa myös kohteiden haastetasot kasvavat, mikä sekin vaatii osaamista. (30.)

Jarek Kurnitskin mielestä uudet ja nykyiset määräykset ohjaavat pienempiin ostoenergioihin. Tätä hän pitää parempana kuluttajille, ja se samalla vahvistaa olemassa olevaa trendiä, jossa sähkölämmityksen suosio jatkaa laskuaan.

9.2 Maalämpöpumppualan tutkimus Suomessa

Suomessa on pääsääntöisesti tehty hyvin vähän maalämpöpumppuihin liittyvää tutkimusta. Tutkimusten tekeminen on kallista johtuen kalliista laitteista, sekä laitteiden vertailu on vaikeaa, koska jokainen rakennus on erilainen. Tutkimuksen hinnasta johtuen pääosa Suomessa tehdystä tutkimuksesta on tilauspohjaisia. Suuri osa Suomessa hyödynnetyistä tutkimustuloksista on peräisin Ruotsista, jossa maalämpöpumput ovat olleet käytössä Suomea kauemmin. Osittain pystytään hyödyntämään myös muissa maissa tehtyjä tutkimuksia, mutta niissä ilmastolliset seikat eivät vastaa Suomen ilmaston vaatimuksia. Tästäkin syystä Ruotsissa tehdyt tutkimukset ovat hyvin hyödynnettävissä Suomessa. (28; 30.)

Suomessa maalämpöpumppuihin liittyvää tutkimusta ovat tehneet ainakin VTT ja alan yliopistot ja muut koulutuslaitokset. Tampereen Teknillisen Yliopiston professori Antero Aittomäki voidaan huomata monessa alalla tehdyssä tutkimuksessa. Tuoretta suomalaista tutkimusta oli vaikea löytää, ja suuri osa tehdyistä tutkimuksista on päivätty jo yli 10 vuotta sitten. Suomessa alan tutkimusvolyyymi onkin laskussa, sillä laitteistojen ollessa pääosin ulkomaisia ei niiden tutkimiseen saada rahaa Suomesta. Alaan liittyvänä on Suomessa tutkittu porareikien ja eri maalajien tuottamia lämpötehoja. (28.)

Tampereella on tehty vuonna 1999 tutkimus Pientalolämpöpumppujen toiminta käyttökohteissa. Tutkimuksen ovat tehneet Antero Aittomäki, Jani Kianta, Heimo Haapalainen ja Matti Simppala. Tutkimuksella pyrittiin selvittämään laitteistojen toimintaa käytännössä. Samalla kerrottiin huomioitavia seikkoja lämpöpumppujärjestelmän rakentamiseen sekä tehokkaaseen käyttöön. Tutkimuksessa oli mukana niin maalämpöpumppuja kuin ilmalämpöpumppujakin. Tutkimuksessa maalämpöpumppukategoriaan on asetettu myös vedestä lämpöenergian saava lämpöpumppu.

Tutkimuksessa lämmitysjärjestelmästä on mitattu lämmitysjärjestelmään hyödyksi saatu lämpö, lämpöpumpun käyttämä sähkö, kiertopumppujen ja puhaltimien ottama

sähkö, lisälämmityksen kuluttama energia, mahdollinen käyttöveden erillisen lämmityksen kuluttama energia sekä lämmönlähteestä saatu lämpö. (29.)

Tutkimustuloksena maalämpöpumpuille laskettiin lämpökertoimia, jotka sijoittuvat väleille 2,2–2,8. Lämpökertoimeen ovat vaikuttaneet järjestelmän käyntiajat, käyttöveden lämmityksen osuus sekä mitoitusosuus. Myös lämmönjaolla on merkitystä lämpökertoimeen. Vuotuisena energiansäästönä on päästy jopa 67 %:n lukemaan, mitä voidaan pitää hyvänä. Huomioitavaa oli myös se, että pienelle teho-osuudelle mitotettu järjestelmä on tuottanut suuren osan rakennuksen lämmitystarpeesta. Myös maalämpöpumppujen toiminta oli hyvää, vaikka jotkut laitteistot vaativatkin pieniä viritystoimenpiteitä. (29.)

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus VTT on myös tehnyt tutkimusta alalla. Suurin osa pientalojärjestelmiin liittyvistä maalämpöpumppututkimuksista on kuitenkin tehty jo 1970- ja 1980-luvuilla. Uudemmissa 2000-luvulla tehdyissä tutkimuksissa on keskitytty lähinnä suurempien asuintalojen, kuten kerrostalojen, lämmitykseen ja jäähdytykseen maalämmöllä. On tehty tutkimuksia, joissa maalämpöä on hyödynnetty myös urheilupaikkojen lämmitys- ja jäähdytysratkaisuina.

10 Yhteenveto

Insinööri työ laaditiin EEMontti-hankkeen aikana kerätystä tiedosta. EEMontti-hankkeella pyritään helpottamaan tavallisen pientaloasukkaan onnistumista ostoenergiankulutusta pienentävässä remontissa. Hankkeessa on luotu neljä referenssikohdetta erilaisten ratkaisujen löytämiseksi. Tässä työssä käytetty tieto on kerätty yhdestä referenssikohteesta.

Vuonna 2007 pientalot kuluttivat eri rakennustyypeittäin eniten energiaa. Lämmityssähköä ne kuluttivat lähes yhtä paljon kuin kaikki muut rakennustyyppit yhteensä. Näille sähkölämmitteisille taloille on vaikea löytää kannattavia parannuskeinoja ja ne ovat energiankulutuksen pienentämisen suhteen vaativin kohderyhmä. Pientalojen suuresta lämmityssähkönkäytöstä johtuen on tämän rakennustyyppin lämmitysenergiankulutusta pienentämällä mahdollista vaikuttaa suuresti rakennusten energiankulutukseen. Pientalojen lämmitykseen kuluu lähes viidennes koko maan loppuenergiankäytöstä. Tätä osuutta pienentämällä voidaan vaikuttaa suuresti koko maan loppuenergian kulutukseen.

Tässä opinnäytetyössä esitetty pientalon lämmitysenergian pienentämiseen vaikuttava remontti on merkittävä pientalojen lämmitysenergian säästön kannalta. Työ esittää keinon yksittäisen talon lämmitysenergiankulutuksen pienentämiseen, joka saattaa sopia moneenkin Suomalaiseen sähkölämmitteiseen pientaloon. Näin ollen opinnäytetyön tuloksilla on tärkeä merkitys kokonaisenergiankulutuksen pienentämisessä.

Työn tarkoituksena on esittää energiankulutuksen laskennan suorittaminen pientaloon. Työssä on käyty läpi energiankulutuslaskennan vaiheet sekä esitelty järjestelmät, joiden mukaisesti laskennat on tehty. Myös tarkennettujen arvojen saamiseksi tehdyt mittaukset ja laskelmat on esitetty seikkaperäisesti. Mittauksilla selvitettiin myös rakennuksen sisäilmaston laatua. Remontin toteutus on myös esitetty.

Työssä on selvitetty myös EEMontti-hankkeen toteutuksen näkemyksiä eri osapuolilta. Lisäksi työssä on selvitetty maalämpöpumppualan nykytilaa sekä esitelty maalämpöpumppuihin liittyvää tutkimusta.

Rakennuksen energiankulutus on selvitetty laskemalla. Laskenta on suoritettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Laskennassa on hyödynnetty Excel- taulukkolaskentaohjelman pohjalle tehtyä laskinta, jossa käytetyt laskentamenetelmät ja symbolit ovat RakMK D5:n mukaisia. Mittaukset on suoritettu rakennuksessa valmistajien ohjeiden mukaisesti.

Hankkeen myötä tarkoituksena olleen palvelun kehittämisehdotuksia selvitettiin eri osapuolilta kyselyillä ja haastatteluilla. Maalämpöpumppualan nykytilanteen selvittämiseksi haastateltiin kahta alan asiantuntijaa.

Tämä insinööriyö osoitti lähtötietojen tarkkuuden vaikutuksen energialaskennan lopputulokseen. Kolmessa vaiheessa suoritettu energialaskelma mahdollisti joka vaiheessa tarkempien lähtötietojen saamisen ja sitä kautta tarkemman lopputuloksen. Käyttämällä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 antamia vakioituja arvoja saatiin tulokseksi suuntaa antava energiankulutus. Tarkemmilla lähtöarvoilla tehty laskelma osoitti, että koska RakMK:n antamat vakioarvot ovat tilastollisia, on käyttäjän kulutustottumuksilla suuri vaikutus lopputulokseen. Kulutustottumukset saatiin selville laajoilla mittauksilla. Rakennuksen sisäilmaston laatu todettiin mittauksilla hyviksi, eikä asukkaallakaan ollut asiaan eriävää näkemystä.

Lisäksi saatiin selville tehdyn remontin vaikutukset energiankulutukseen sekä ostettavan energian määrään. Rakennukseen jätetyt sähkölämmittimet heikensivät suuresti koko järjestelmän vuosihyötysuhdetta verrattuna pelkkään maalämpöpumppuun. Remontin jälkeisellä järjestelmällä saavutettiin kuitenkin lähes 40 % säästö ostettavan energian määrässä.

Palvelun kehittämiseksi tarvitaan kuluttajille luotettavampaa tietoa maalämpöpumpuista. Lisäksi joitain vallitsevia epätietoisuusasioita on korjattava. Urakoitsijan näkemyksen mukaan tarvitaan systeemi, jolla maalämpöpumppujen suorituskyyvyt saadaan vertailukelpoiseksi. Tämä helpottaa kuluttajaa valinnan tekemisessä ja vertailussa. Kokonaisuudessaan remontti onnistui kuitenkin hyvin.

Maalämpöpumppuala on nykypäivänä hyvinkin tunnettu. Se on iso tekijä uusiutuvien energialähteiden alalla, varsinkin pientalojärjestelmissä. Eikä tämän hetkisel-

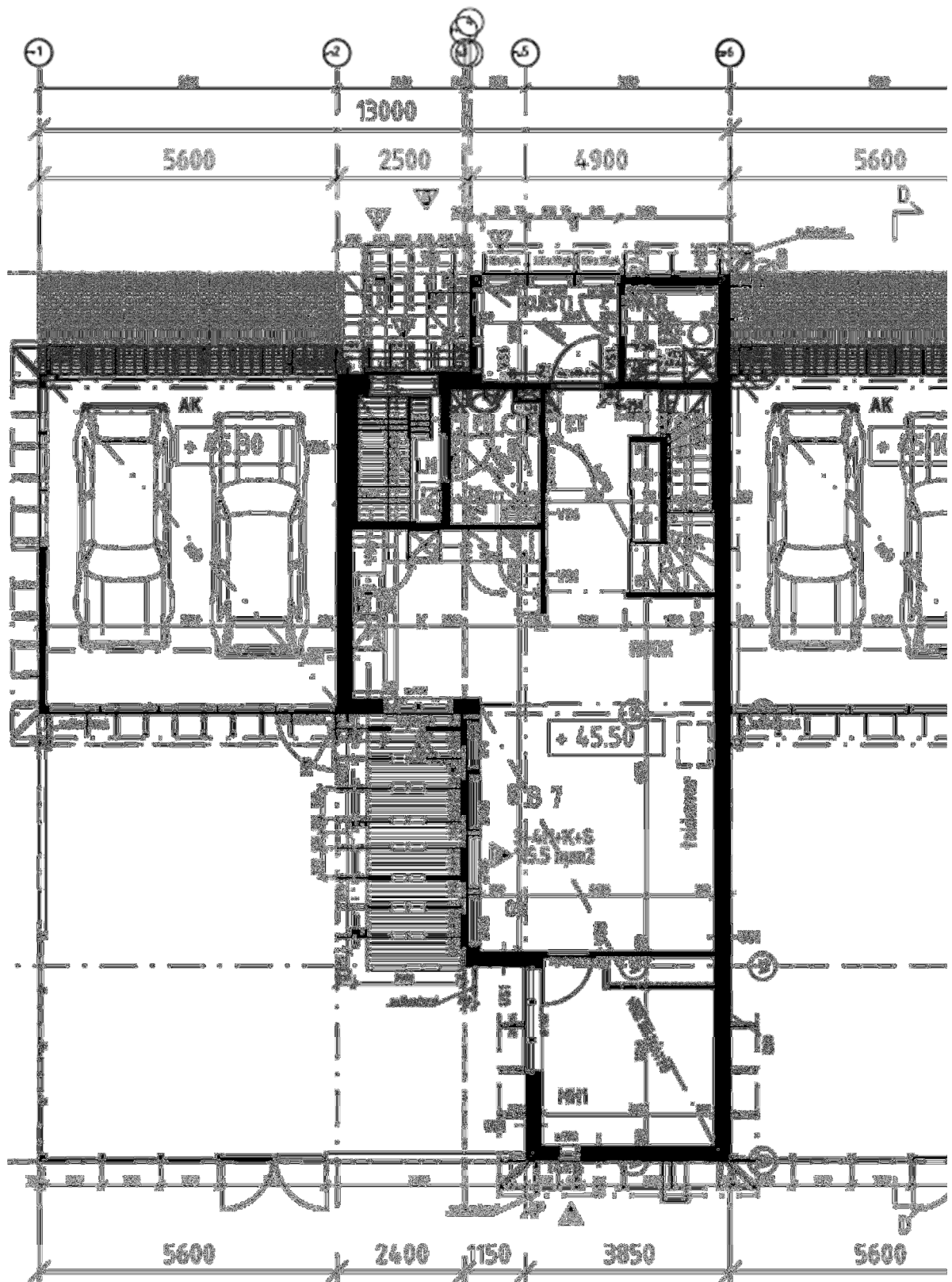
tilanteelle näytä tulevan hiipumista, sillä tiukentuvat energiamääräykset ajavat jatkossakin kuluttajia uusiutuvien energialähteiden käyttäjiksi. Alan ollessa pinnalla ja laitteiden myyntivolyymien ollessa suuria aiheutuu alalle laitteita kehittävää kilpailua. Nykyisellään laitteet ovat hyvinkin toimivia ja asentajat asiansa osaavia. Alalla on kuitenkin nähtävissä jo uutta kehitystä laitteissa.

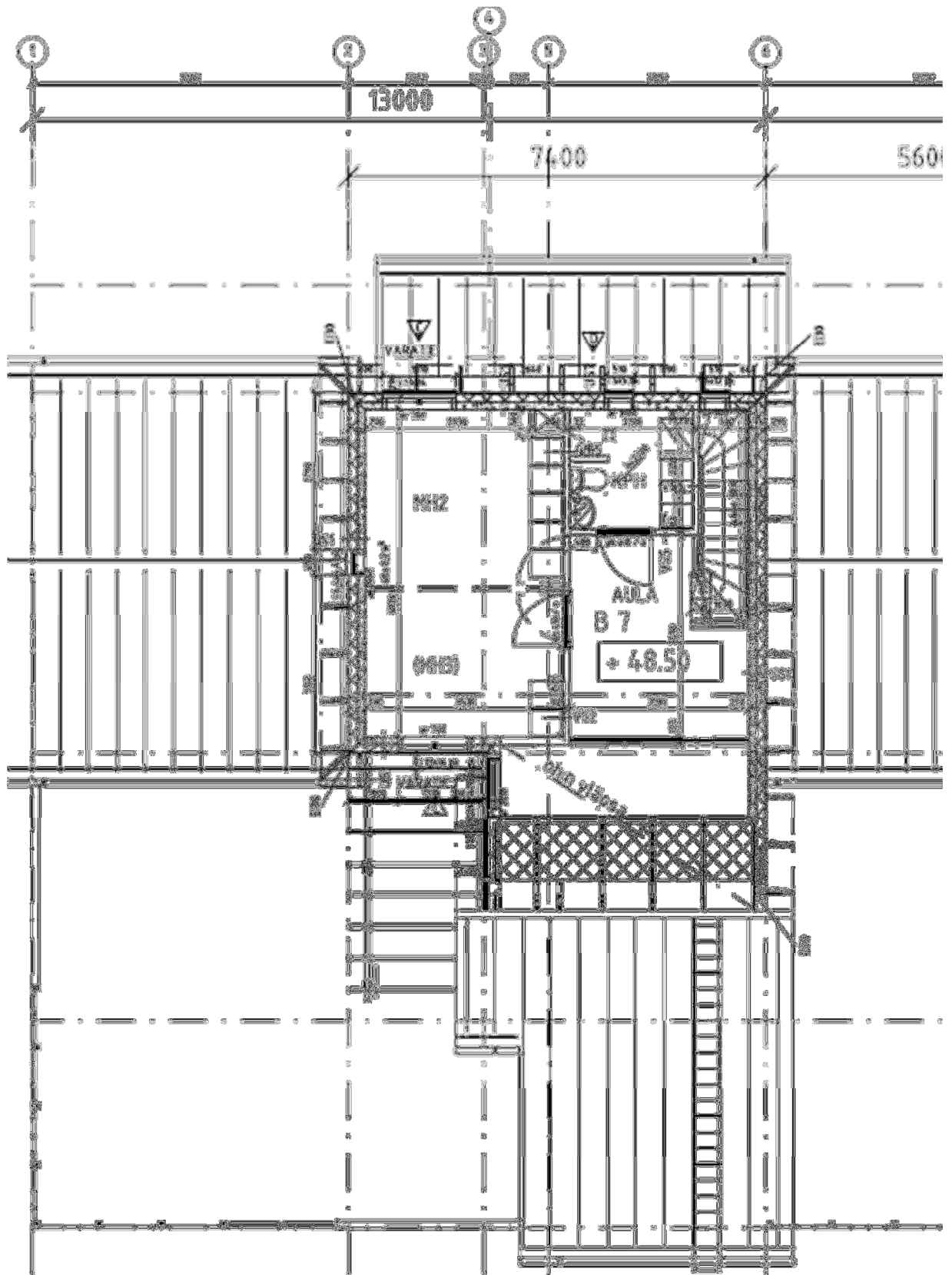
Rakennuksen energiankulutuksen selvittämistä on jatkettava ainakin yhden vuoden eteenpäin seurannan aloituksesta. Tällöin saadaan tarkka kuva energiankulutuksesta, kun koko vuoden lämpötilatiedot ja energiankulutukset ovat tiedossa. Myös järjestelmään asennettu jäähdytyslaitteisto vaikuttaa energiankulutukseen eikä sen vaikutuksia voitu tutkia talvisella seurantajaksolla.

Lähteet


- 1 ERA17 Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2010. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö, Sitra ja TEKES. <http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/ERA17_loppuraportti.pdf> Luettu 30.5.2012
- 2 Häkämies, Suvi ja Haakana, Arto. 2011. EEMontti hankesuunnitelma, versio 2.9.2011. Vantaa: Green Net Finland.
- 3 Yhteystiedot. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland. <http://www.eemontti.fi/?page_id=14>. Luettu 19.3.2012.
- 4 Rakennetyypit. 2006. Rakennepiirustus. Optiplan Oy.
- 5 Perustusjärjestelmät & Sokkelielementit, tuote-esite. Linterm Oy.
- 6 Lindgren, Mats. 2011. Linterm Oy. Puhelinkeskustelu 29.9.2011.
- 7 Lämmityslaitte 4000 E, tuote-esite. 2007. Legalett.
- 8 Lämmityslaittekotelo 4000 A 50/50, tuote-esite. 2007. Legalett
- 9 Vesi- ja viemärijohdot, Talo B 1. ja 2. kerros. 2007. Vesi- ja viemärisuunnitelma. Optiplan Oy.
- 10 ILTO 440 CONTROL Ilmanvaihtoa miellyttävään asumiseen. Meptek Oy.
- 11 Ilmanvaihto, Talo B 1. ja 2. kerros. 2007. Ilmanvaihtosuunnitelma. Optiplan Oy.
- 12 Raksystems Anticimex Oy. 2011. Kuntotarkastusraportti. Vantaa.
- 13 Ilmavirtojen mittaus- ja säätöopas. 2011. Fläkt Woods Oy. Turku.
- 14 Sisäilmastoluokitus 2008. 2009. Ohjetiedosto RT 07-10946. Rakennustieto Oy.
- 15 Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön opas. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 16 EEMontti: Tarjousten arviointi. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland. <http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/11/EEMontti_Tarjoukset_radin_lausunnot_final.pdf>. Luettu 30.3.2012
- 17 EEMontti Kilpailuohjelma. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland. <http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/08/EEMontti_kilpailuohjelma_260911.pdf>. Luettu 30.3.2012.
- 18 Kohdekiinteistöt. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland <http://www.eemontti.fi/?page_id=8>. Luettu 30.3.2012.
- 19 Väänänen, Pauli. 2012. Asentaja, Pistoke Oy, Vantaa. Keskustelu 12.1.2012.

- 20 Tietolehti HPK 9 TEW. Verkkodokumentti. Oy Glen Dimplex Nordic Ab.
<<http://www.dimplex.de/pdf/fi/HPK9TEW.pdf>>. Luettu 13.4.2012.
- 21 Hakala, Pertti ja Kaappola, Esko. 2005. Kylälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- 22 Nummelin, Magnus. 2012. Tuotepäällikkö, Oy Glen Dimplex Nordic Ab, Porvoo. Puhelinkeskustelu 20.4.2012
- 23 Puhallinkonvektorit lämmitykseen ja jäähdytykseen. Verkkodokumentti. Oy Glen Dimplex Nordic Ab.
<<http://www.dimplex.de/fi/laemppoepumput/puhallinkonvektorit/puhallinkonvektorit-laemmytykseen-ja-jaeaehdytykseen.html>>. Luettu 20.4.2012.
- 24 ILTO 440 Asennus-, käyttö- ja suunnitteluohje. Meptek Oy.
- 25 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriön moniste I22. Ympäristöministeriö.
- 26 Huippumurit E120, tuote-esite. Vilpe Vent.
- 27 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö
- 28 Kurnitski, Jarek. 2012. Johtava asiantuntija, SITRA energiaohjelma, Helsinki. Keskustelu 9.5.2012.
- 29 Aittomäki Antero, Kianta Jani, Haapalainen Heimo ja Simppala Matti. 1999. Pientalolämpöpumppujen toiminta käyttökohteissa. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto
- 30 Seuna, Sami. 2012. Asiantuntija, Motiva Oy, Helsinki. Keskustelu 16.5.2012
- 31 Maaliskuun 2012 sää ja tilastot. 2012. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/maaliskuu>> Päivitetty 2.5.2012 Luettu 25.5.2012

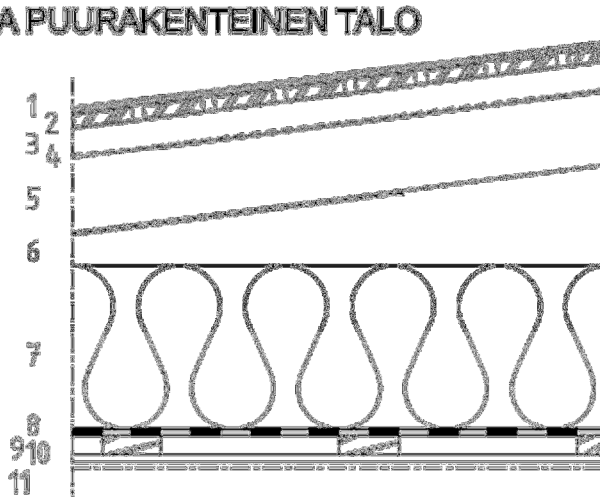
Rakennuksen pohjapiirros, 1. kerros

Rakennuksen pohjapiirros, 2. kerros

Rakennetyyppejä

		RAKENNUSKOHTA	SRV
		RAKENNUSTYÖ	NR
WATU	PAK	YLÄPOHJA	
		PUURAKENTEINEN YLÄPOHJA	RANKI
		PELTIKATTO	YP 1
MÄÄRITYS		MÄÄRITYS LAU	

KIVI- JA PUURAKENTEINEN TALO

RUOKEEN PAKSUUS
JAKOVÄLI k150


TUKIVÄLI k mm	RUOKEEN PAKSUUS
≤ 600	21 mm
600 ≤ 800	21 mm
800 ≤ 1100	25 mm
1100 ≤ 1200	32 mm

- 1 KONESAUMATTU PELTIKATE RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN, 2-KERT. SAUMA
- 2 RUODELAUDOITUS 100 x TUKIVÄLITÄULUKON PAKSUUS, k 110
- 3 KOROTUSRIMAT 50x50, KIINNITYS KUUMASINKITYIN RUUVEIN
- 4 ALUSKATE
- 5 ALUSKATTEEN TULEE OLLA KONDESSI- JA HOMESUOJATTU, LIMITYS ≥ 150 mm
- 6 KATTOKANNATTAJAT, RAKENNEPIIRUSTUSTEN MUKAAN
- 7 TUULETETTU ILMATILA
- 8 MINERAALIVILLA, 180mm PUHALLUSVILLA (L-PUH TAI VAST. $\alpha=0,050$) PAIKALUEEN PUHALLETTUNA + 150mm MINERAALIVILLA, $\alpha=0,041$ TAI 300mm MINERAALIVILLA, $\alpha=0,041$
- 9 HÖYRYNSULKU, POLYETEENIKALVO, SAUMAT LIMITETÄÄN 200 mm, TEIPATAAN
- 10 KOOLAUS 32x100 / 22x100 k400
- 11 KIPSILEVY GN
- 11 PINTAKÄSITTELY / ALAKATTO HUONESELOSTUKSEN MUKAAN

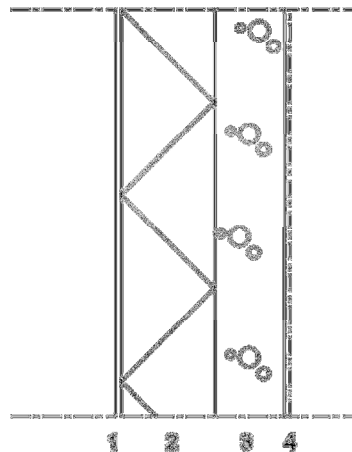
LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN: $U \leq 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
PALONKESTOLUOKKA:

TOTEUTUS JA SUUNNITTELUHUOMIOT:

- KALLISTUS $\leq 1:6$
- KATTEEN KIINNITYS RT 65-10362 MUKAAN
- TUULETUS RAKENNESUUNNITTELIJAN OHJEEN MUKAAN
- TERÄSVALMISTEISTEN KATTOKANNATTAJAIN KÄYTTÖ SUOSITELTAVAA
- TUULETUOMIUS $\geq 1000 \text{ mm}$ REUNA-ALUEILLA, TUULENOHJ. KOVALLA PÄIVÄ, REIKÄIN.
- KATTOLUKUT ILMATILAAN, KETJUKIINNITYS
- ULLAKON OSASTOINTI SRN:in E1 MUKAAN
- RUODELAUDOITUKSEN PUUTARAB-LUOKKA
- ALUSKATTEEN ASENNUS RAKENNESUUNNITTELIJAN JA KATETORNITTAJAN OHJEEN MUKAAN, ALUSKATE ALKI HARJALTA 500 mm. HUOMI VEDENPOISTO RAYSTAALLA
- PELTIKATTEEN JA ALUSKATTEEN VALIN OLTAVA TUULETTUNA
- PELLIN ALLE PELTIKATTEEN KESKELLE SAUMOJEN SUUNTAISESTI POLYETEENIMATTOKAISTAT 5 mm
- ALUSKATTEEN HÖYRYNLÄPÄISYN VÄIKUTUS KOROTUSRIMAN KORKEUTEEN TUTKITTAVA

		RAKENNESKIDOS	SVU
		RAKENNUSKOKO	MÄÄ
VERHO	PM	ULKOSEINÄT	
		SISÄKUORIELEMENTTI, KANTAVA ERISTERAPPAUS, EPS	TIIVISTYS US 1
KÄSITTELY		RAKENNUSKOKO	

KIVIRAKENTEINEN TALO



- 8 mm 1 ERISTERAPPAUS LAASTIVALMISTAJAN OHJEEN MUKAAN, ESIM ALSECCO OHUTRAPPAUS
160 mm 2 ERISTE: EPS 100S SEINÄ
120 mm 3 TERÄSBETONIELEMENTTI RAKENNEPIIRUSTUSTEN MUKAAN
4 PINTAMATERIAALI JAKSITTILY HILJENNELLYKSEN MUKAAN

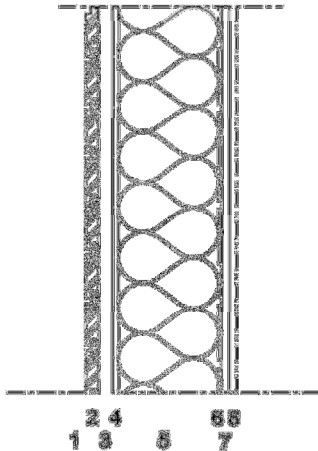
TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:


RAPPAUSVERKOT, KIRKKOKOIT YMS. LAASTIVALMISTAJAN OHJEEN MUKAAN
KORJAUSYÖT ARKKITEHDIN / RAPPAUSTOIMITTAJAN MUKAAN
RAPPAUKSEN LUKUSTASALUJAKO RAPPAUSTOIMITTAJAN MUKAAN

LÄMMÖNLÄPÄISYKERTTIN = 0,25 W/m² K
PALONKESTOLUOKKA REI 60

OPTIPLAN OPTIPLAN OY		RAKENNUSOHJE	OHJ
		RAKENNUSOHJE ULKOSEINÄT	MRO
VERSTU	PM	PUURUNKO MINERAALVILLA, PUUVERHOUS	TEHOS US 3
RAKENNUS A 25.10.2025 PM		RAKENNUS LAMIN PÄÄLLIN PÄÄLLIS	

KIVIRAKENTEINEN JA PUURAKENTEINEN TALO





1 - PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

22 mm 2 - VAAKAPANEELI TAI JALOSPALLEVY JALOSPALVERUSTUSTEN
JA RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

25 mm 3 - PYSTYKIDLAUS 25x100 K200

8 mm 4 - TUULENSUOJA, (GYPROO TSL)

170 mm 5 - PYSTYKIDLAUS 45x170 K200 + MIN VILLA 170MM, LAMBDA 0.037

6 - HÖYRYNSULKUKUORMI 0.2004, LIMITYS 2000MM

13 mm 7 - KIPSILEVY ON

8 - PINTAKÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN

LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIN = 0.25 W/m2 K

Kuntotarkastusraportti, yhteenveto sekä oleelliset havainnot



Kuntotarkastus RS³
Tapparakuja 13 B 7, 01700 Vantaa

2

I. YHTEENVETO

Tarkastuksen kohteena oli vuonna 2005 rakennettu osittain kaksikerroksinen omakotitalo. Kuvien mukaan rakennus on perustettu kantavan maanvaraisen betonilaatan varaan. Alapohjana on maanvarainen betonilaatta alapuolisella lämmöneristeellä. Ulkoseinät ovat betonirakenteiset, tuulikaapissa ja autotallissa puurakenteisia. Välipohja on kivirakenteinen, yläpohja on puurakenteinen. Kattomuotona on jaettu harjakatto ja katteena on saumattupeltikate. Lämmönlähteenä on suorasähkö ja lämmönjako tapahtuu tarkastuksen yhteydessä saadun tiedon mukaan sähkötoimisen ilmalämmityksen, pattereiden ja lattialämmityksen avulla. Ilmanvaihtona on koneellinen tulo- / poisto lämmöntalteenotolla.

Rakennus on pääosin alkuperäisessä asussaan, eikä siihen ole tehty tavanomaisen huollon ja kunnossapidon lisäksi merkittäviä korjauksia tai perusparannuksia, korjaus ja huoltotoimenpiteet on lueteltu liitteenä olevassa haastattelulomakkeessa.

Merkittävimmät korjaus- kunnostus ja huoltotoimenpiteet kohdistuvat aluskatteen läpivientien tiivistämiseen sekä lämmöneristyksen asennuksen korjaamiseen yläpohjan osalta.

Merkittävimmät jatkotutkimustarpeet liittyvät ullakkotiloihin joita ei voinut kaikkia / riittävän laajasti arvioida tarkastuksen yhteydessä. Suositellaan tiloihin järjestettäväksi näkö- / kulkuyhteys ja tilojen tarkastamista. Salaojien olemassa olosta ei tehty havaintoja. Suositellaan salaojien olemassa olon ja toiminnan selvittämistä.

Rakennuksen tulevan käytön ja kunnossapidon kannalta tulee huomioida mm. ulkoverhouksen puuosien huoltokäsittely.

Havaitut puutteen tai ehdotetut toimenpiteet johtuvat pääosin alkuperäisestä toteutustavasta sekä rakenteiden tyypillisestä ikääntymisestä.

Rakennuksen sisällä piilevien vaurioiden mahdollisuutta ei tarkastuksen pintapuolisuuden vuoksi voida pois sulkea.

2. OLEELLISIMMAT HAVAINNOT

Viite	Havainto	Huolto	Lisätutkimus	Korjaus/ uusiminen	Riski-rakenne
9	Maanpintojen kallistusten lisääminen			*	
10	Salaojien olemassa olo		x	*	
11	Ulkoverhouksen huoltokäsittely			*	
13	Vesikaton pinnoitteen puutteet	x			
14	Kaikkien ullakkotilojen / yläpohjan tarkastaminen		x	*	
21	Lämpimän käyttöveden lämpötilan säätäminen vastaamaan ohjearvoja				
* mahdollinen korjaustarve riippuu lisätutkimuksissa tai käytössä esille tulevista asioista					
① Tietoa rakenteeseen liittyvistä riskitekijöistä on liitteenä olevassa riskirakennekortissa.					
Taulukkoon on koottu vain olennaisimmat riskit, sekä lisätutkimusta, huoltoa, korjausta tai uusimista vaativat kohdat. Kohteen käytön ja kunnossapidon kannalta vähäisemmät asiat on käsitelty pelkästään havaintojen yhteydessä.					

3. RAJAUKSET

- Salaojien olemassa oloa ja toimintaa ei voinut tarkastaa.
- Ullakkotila tarkastettiin luukusta tähyttämällä. Autotallin ja tuulikaapin yläpohjaan / ullakkotilaan ei ole näkö- / kulkuyhteyttä.

4. MUUTA

- Rakennepiirustusten puuttuminen vaikeutti rakenteiden arvioimista

Mittaussuunnitelma

MITTAUSSUUNNITELMA

1. Yleistä

Neljän pientalon sisäilmasto-olot ja ilmanvaihdon ilmavirrat mitataan. Asukkaille tehdään sisäilmastokysely. Kyselyn perusteella päätetään tarvitaanko täydentäviä mittauksia.

2. Perusmittaukset

Jatkuvana mittauksena mitataan seuraavat sisäilmastotekijät:

- ilman lämpötila
- ilmankosteus
- hiilidioksidipitoisuus

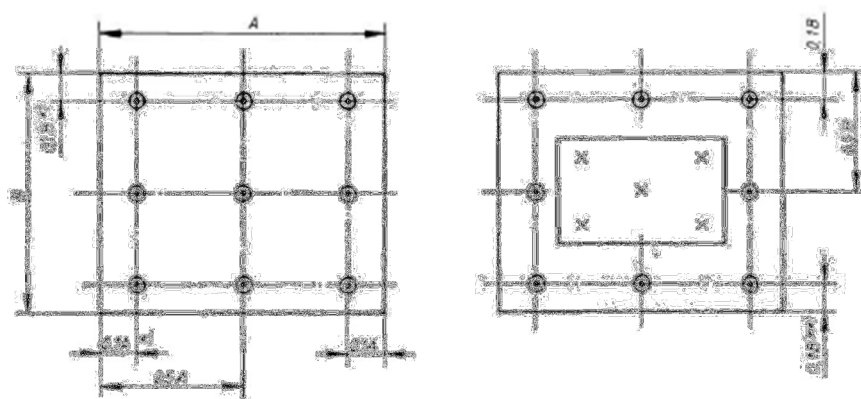
Kertamittauksina mitataan seuraavat tekijät:

- ilman liikenopeus
- lämpötila
- lämpötilan kerrostuminen
- lattian lämpöindeksi
- ulkoseinän lämpöindeksi
- operatiivinen lämpötila
- ulkoilman lämpötila
- tilan tulo- ja poistoilmavirrat
- tuloilman lämpötila
- tuloilman kosteus.

Perusmittaukset suoritetaan neljässä kohteessa kahtena eri ajankohtana. Ajankohdiksi on syksy ja talvi. Suositeltavaa olisi, että mittaus jatkuisi yli viikonlopun. Mittaukset suoritetaan SFS-standardien mukaan (SFS-5511).

Ilman kosteus, lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus kirjataan viiden minuutin välein. Viikon mittainen jatkuva mittaus suoritetaan olohuoneessa, jossa kuormitusten määrä vaihtelee eniten.

Tuloilman lämpötila ja kosteus mitataan kertamittauksena. Tulo- ja poistoilmavirrat mitataan huonekohtaisesti ja samalla tarkastellaan ilmanvaihdon toimivuutta käyttötilanteissa. Jos ilmanvaihtoa pystytään säätämään käsin, mitataan ilmavirrat kullakin toiminta- portaalla. Lämpötila mitataan 1,1m korkeudesta keskeltä huonetta. Jos on aihetta epäillä kerrostumista, niin kerrostuminen selvitetään mittaamalla 0,1m, 1,1m ja 1,7m korkeudelta.



ikkunaton seinä

ikkunallinen seinä

- Lämpötila- ja kosteuspisteet
- CO₂-piste
- Ilmanvirran mittauspiste
- Ilmanvirran mittauspiste

Lämpötilaindeksi määritellään seuraavasti:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 \text{ [\%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C

T_i = sisäilman lämpötila, °C

T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Lämpötilaindeksin laskemiseksi on määritettävä huoneilman lämpötila, ulkoilman lämpötila ja sisäpinnan (seinä tai lattia) lämpötila.

LÄMPÖTILOJEN LÄMPÖTILAINDEKSIEN / ILMAN VIRTAAUSNOPEUDEN OHJEELLISIA ARVOJA

Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) ¹⁾	18 ¹⁾		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 ²⁾		20	
Seinän lämpötila (°C) ³⁾	16	81	18	87
Lattian lämpötila (°C) ³⁾	18	87	20	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 ⁴⁾	61	12	65
Ilman virtausnopeus ⁵⁾	vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

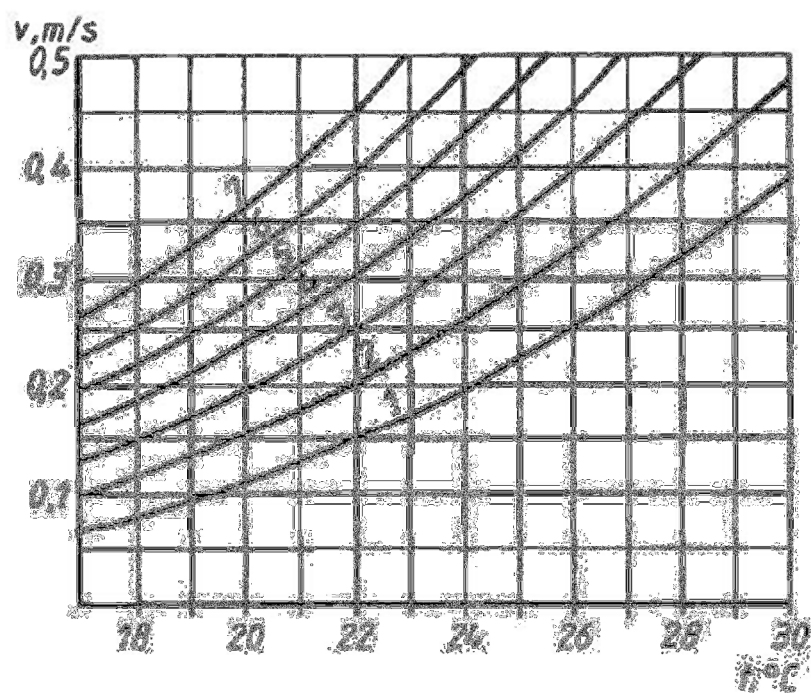
1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää arvoa 23 – 24 °C.

2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.

3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Mikäli mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksillä laskettua vastaavaa pintalämpötilaa.

4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on – 10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C. Ikkunan, seinännurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pintalämpötila.

5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyrästä



v on ilman enimmäisnopeus

t on ilman lämpötila nopeuden mittauspisteessä

Kuva 7 Vetokäyrät ilman enimmäisnopeuden määrittämiseksi

3. Raportointi

Mittauspöytäkirja tehdään KH 20-00260 mukaan. Siinä tulee esittää:

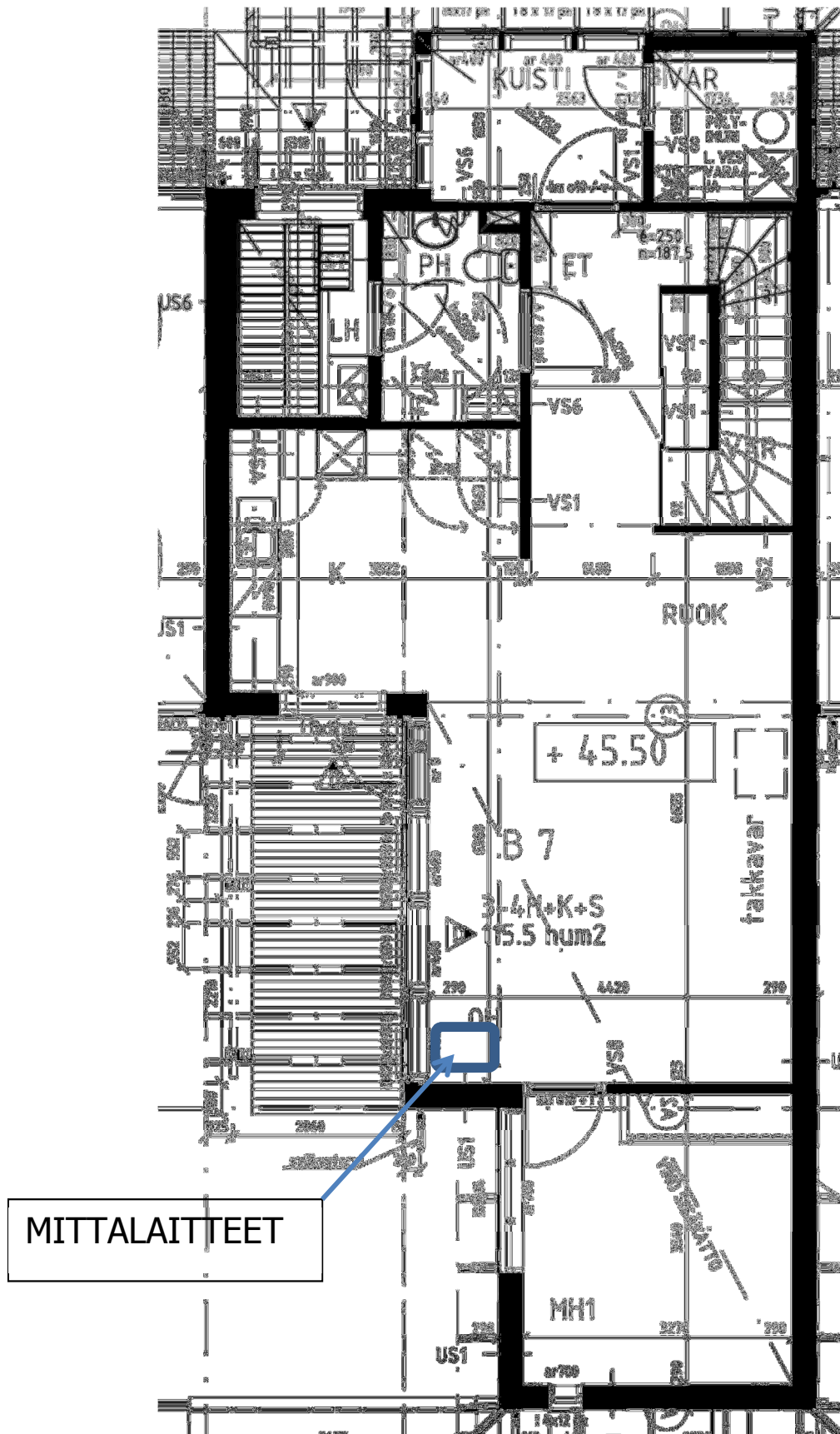
- hankkeen nimi
- mittausajankohta
- mittauspaikka
- mittaajat
- mitatut suureet
- mittausmenetelmät ja laitteet, selvitys laitteiden kalibroinnista
- sääolosuhteet
- muut vaikuttavat olosuhteet

Mittau tulokset esitetään pöytäkirjassa virhearvioineen. Kokonaisvirheinä käytetään KH 20-00260 mukaisia arvoja.

- Ilman lämpötila $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$
- Operatiivinen lämpötila $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$
- Pintalämpötila $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$
- Ilman kosteus $\pm 5\%$
- Ilman nopeus $\pm 0,05\text{m/s}$, kun nopeus $\leq 0,5\text{m/s}$
 $\pm 10\%$, kun nopeus $\geq 0,5\text{m/s}$

Muille suureille virhettä arvioidaan kokonaisvirheen kaavalla (KH 20-00260 kaava 1). Pitkäkestoisista mittauksista muodostetaan kuvaaja havainnollistamaan muutoksia.

Mittalaiteiden sijoitupaikka



Tiiviysmittauksen pöytäkirja

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 7.12.2011

Technician:

Test File: Untitled

Customer: Kaurala Kari (EEmontti)
 Tapparakuja 13 B
 Vantaa,
 Phone:
 Fax:

Building Address:

Test Results at 50 Pascals:

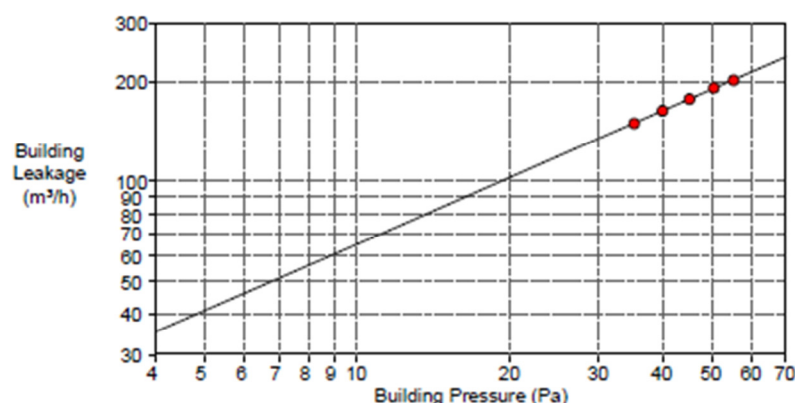
V50: Airflow (m³/h) 189 (+/- 0.1 %)
 n50: Air Changes per Hour (1/h) 0.53
 w50: m³/(h*m² Floor Area) 1.56
 q50: m³/(h*m² Surface Area) 0.52

Leakage Areas: 72.3 cm² (+/- 1.2 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.20 cm²/m² Surface Area
 37.9 cm² (+/- 2.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.11 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (Cenv) = 13.9 (+/- 3.1 %)
 Air Leakage Coefficient (CL) = 14.0 (+/- 3.1 %)
 Exponent (n) = 0.665 (+/- 0.008)
 Correlation Coefficient = 0.99978

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
 Type of Test Method: B Regulation complied with:
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	355 m³
Outside Temperature:	6 °C	Surface Area:	361 m²
Barometric Pressure:	99450 Pa	Floor Area:	121 m²
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	10 %
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



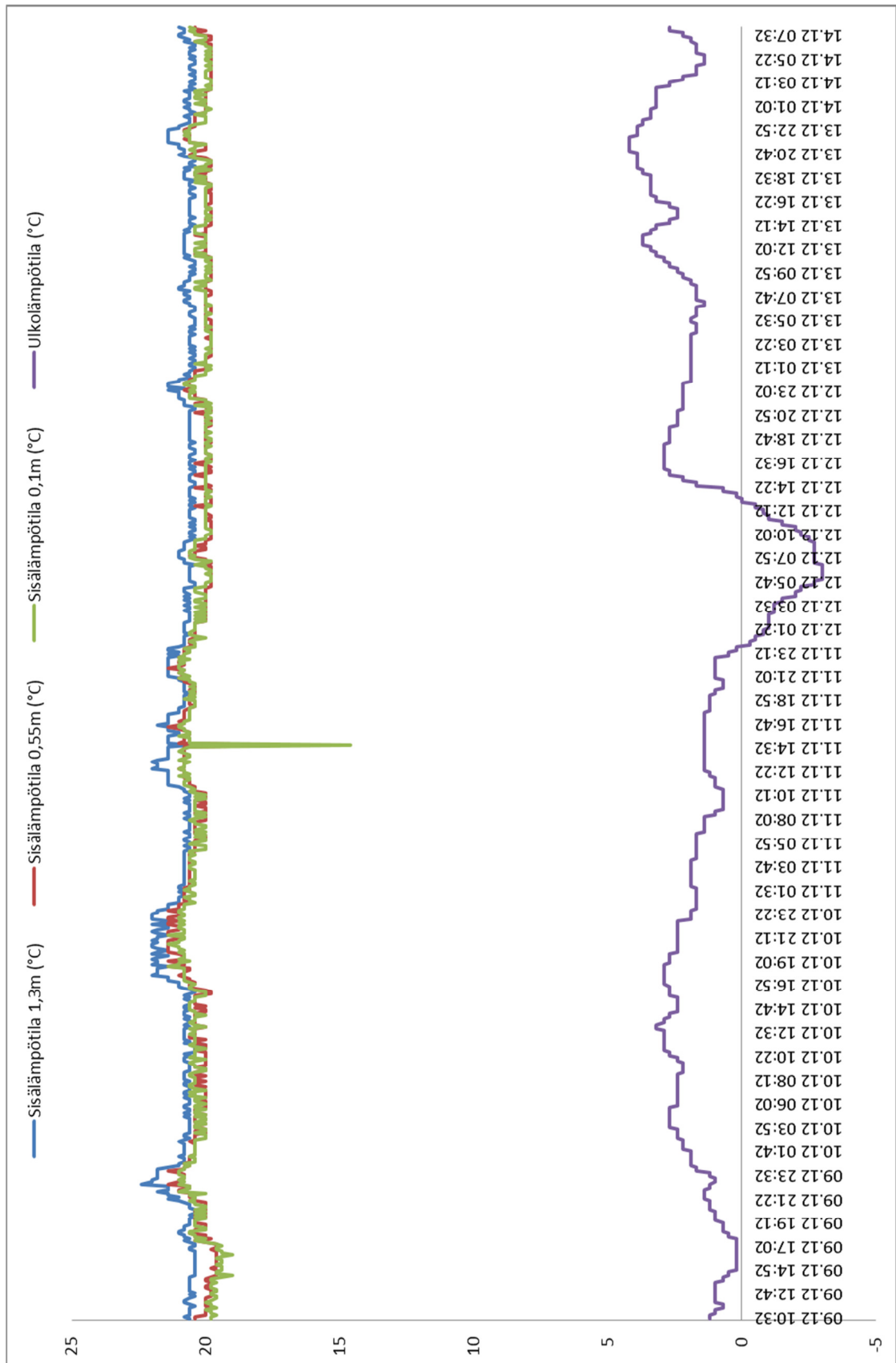
BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

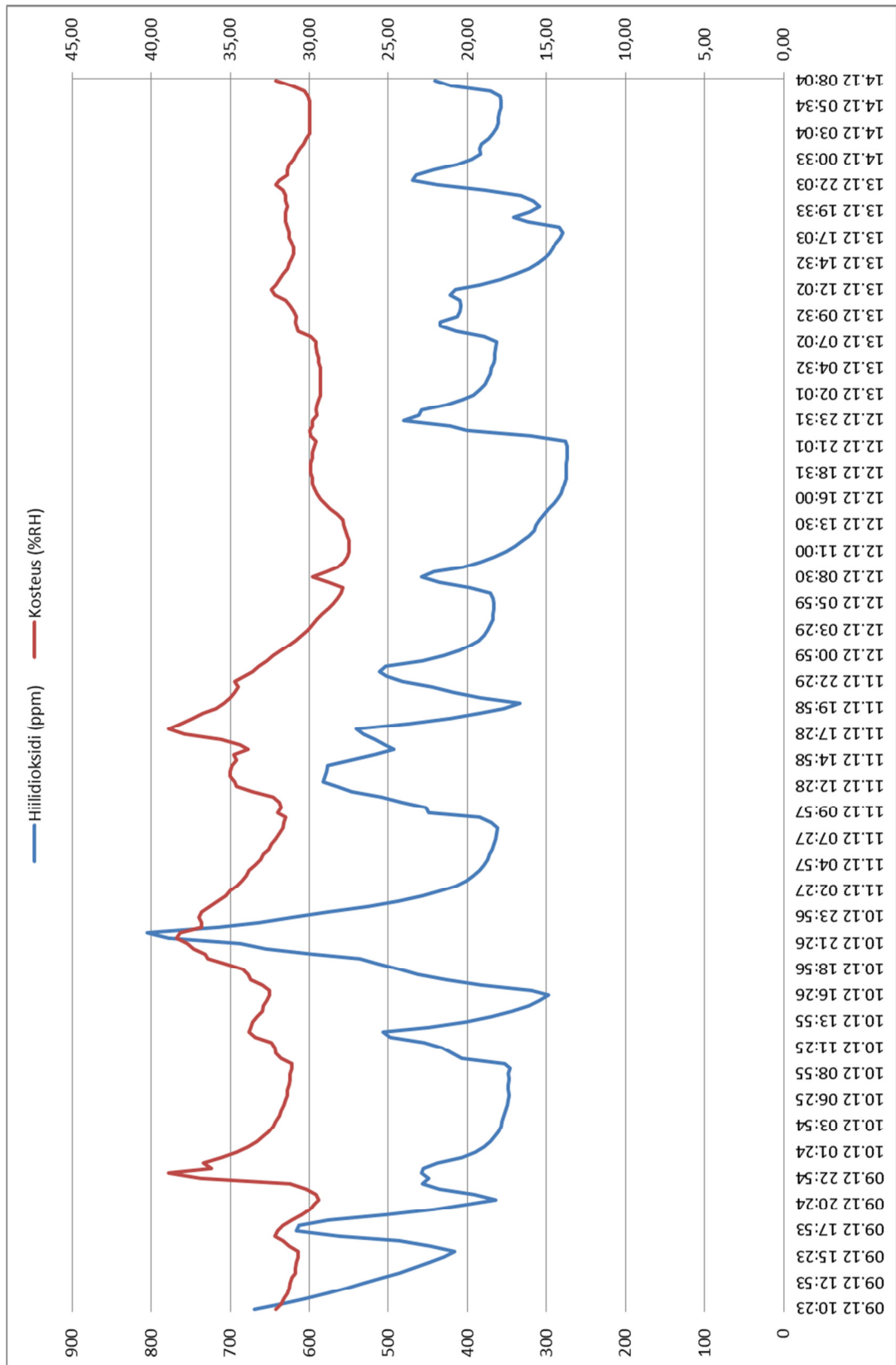
Date of Test: 7.12.2011 Test File: Untitled

Comments

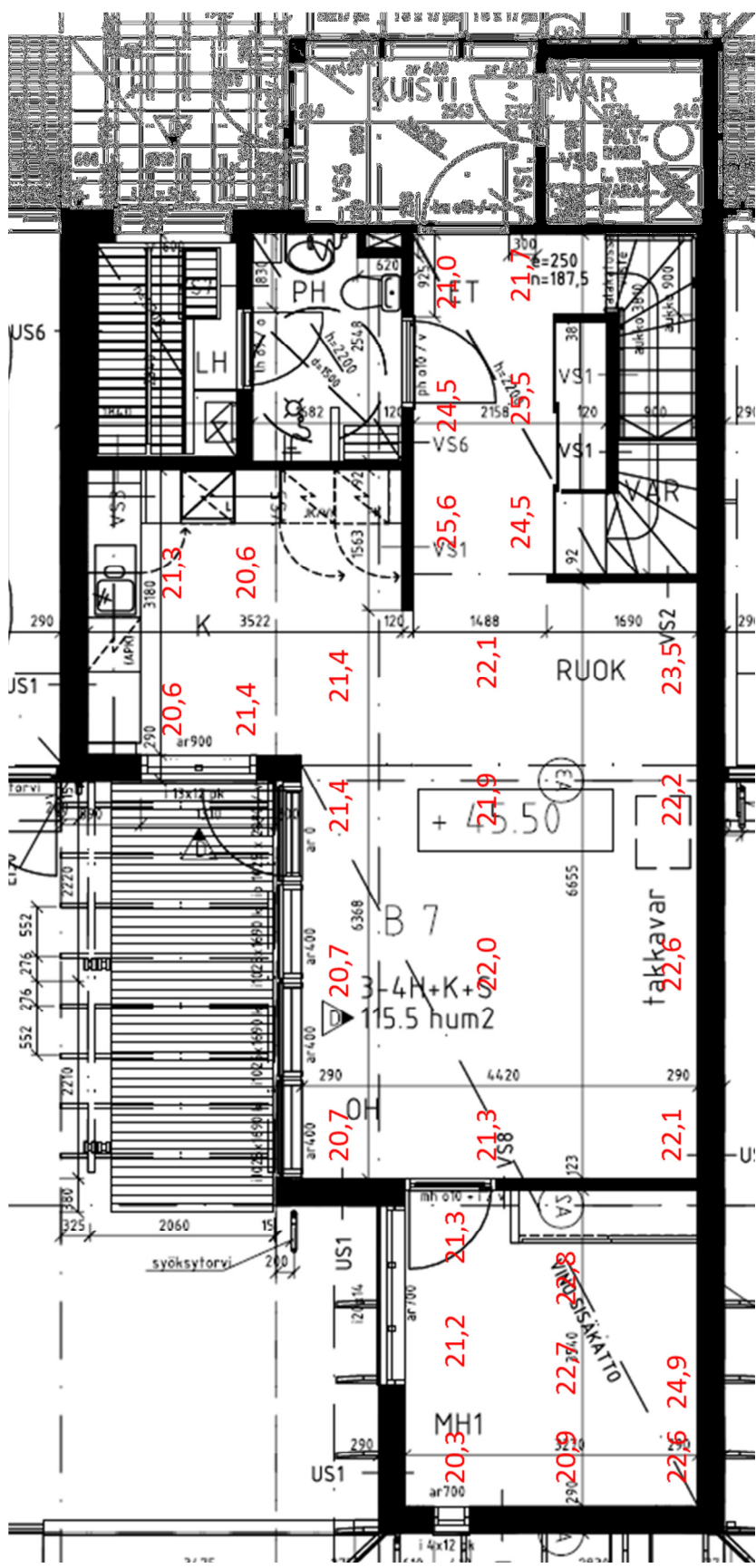
Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-4.1	n/a				
-59.3	100.3	208	201	-0.2	Ring C
-54.6	90.4	197	191	0.4	Ring C
-49.3	77.5	182	176	-0.2	Ring C
-44.1	66.6	168	163	0.1	Ring C
-39.2	56.2	154	149	-0.1	Ring C
-4.1	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -4.1 p01+ = 0.0 p02- = -4.1 p02+ = 0.0					

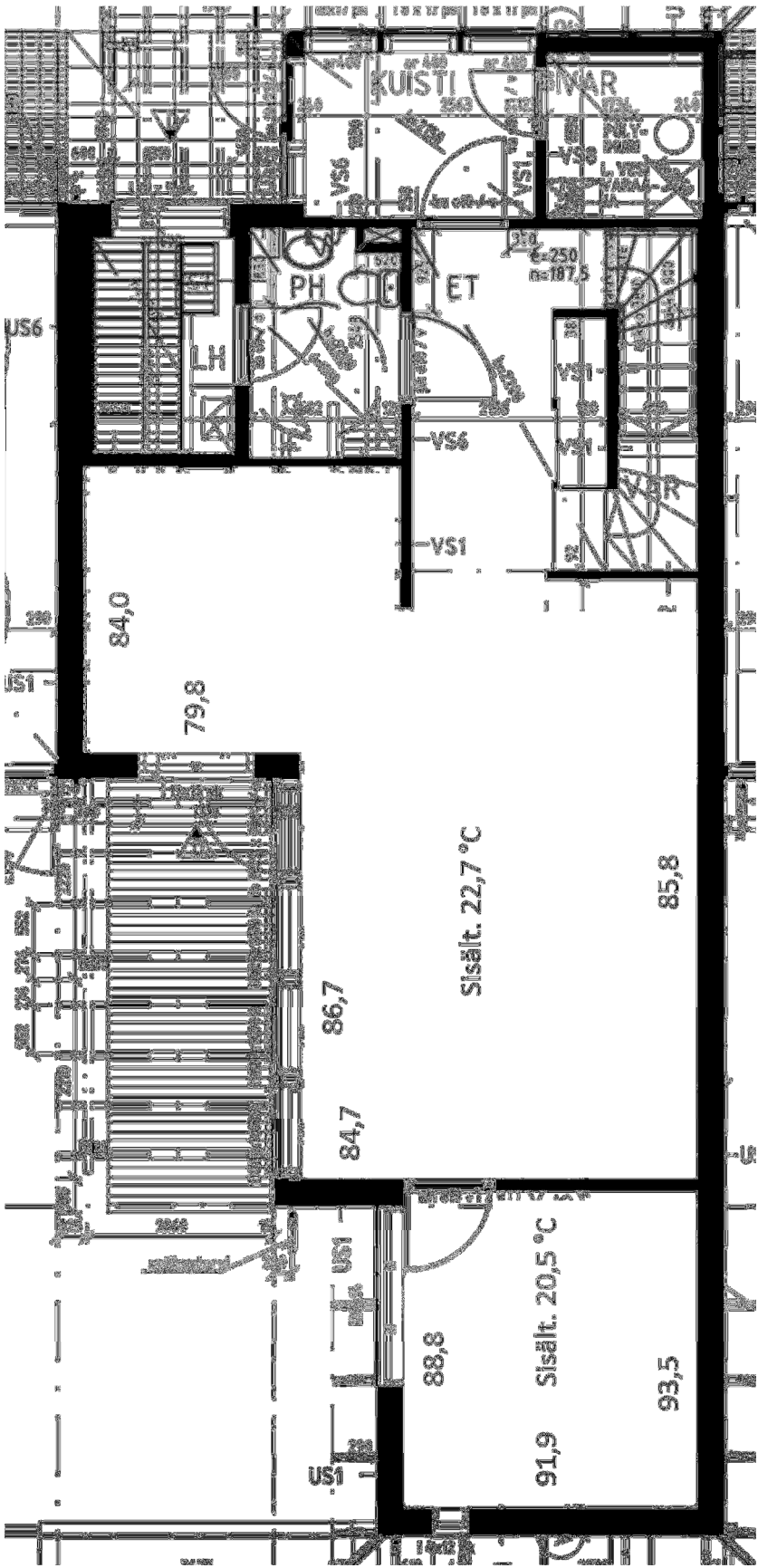
Sisä- ja ulkolämpötilat ennen remonttia

Olohuoneen hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus ennen remonttia

Lattian pintalämpötilat



Seinien lämpöindeksit



Päätelaitteiden ilmapirr

Taulukko 24. Päätelaitteista mitatut tiedot

Päätelaite	Avauma	k-arvo
Sauna, tulo	7 mm	2,5
Sauna, poisto	-9 mm	1,08
Pesuhuone, poisto	5 mm	3,3
Eteinen, tulo	3 mm	1,3
Eteinen, poisto	-9 mm	1,08
Varasto, tulo	5 mm	2
Varasto, poisto	-9 mm	1,08
Keittiö, poisto	1 mm	3,42
Kylpyhuone, poisto	5 mm	3,3
Asuinhuone, tulo	11 mm	3,9
Ruokailutila, poisto	0 riviä	3,5
Makuuhuone, KTS-125	10 mm	3,6
Makuuhuone, OKI-125	1 rivi	3,1
Aula, tulo	1 rivi	2,2

Taulukko 25. Päätelaitteiden ilmapirr ja mittaustulokset nopeudella 3

Päätelaite	Suunnittelu (l/s)	Mitattu (Pa)	Mitattu (l/s)
Sauna, tulo	+6	12	+8,7
Sauna, poisto	-6	12	-3,7
Pesuhuone, poisto	-20	39	-20,6
Eteinen, tulo	+5	12	+4,5
Eteinen, poisto	-6	50	-7,6
Varasto, tulo	+5	33	+11,5
Varasto, poisto	-6	52	-7,8
Keittiö, poisto	-19	34	-19,9
Kylpyhuone, poisto	-20	36	-19,8
Asuinhuone, tulo	+12	7	+10,3
Ruokailutila, tulo	+12	17	+14,4
Makuuhuone, KTS-125	+12	7	+9,5
Makuuhuone, OKI-125	+12	6	+7,6
Aula, tulo	+6	6	+5,4

Taulukko 26. Päätelaitteiden mittaustulokset nopeudella 2

Päätelaitte	Mitattu (Pa)	Mitattu (l/s)
Sauna, tulo	5	+5,6
Sauna, poisto	5	-2,4
Pesuhuone, poisto	17	-13,6
Eteinen, tulo	5	+2,9
Eteinen, poisto	22	-5,1
Varasto, tulo	14	+7,5
Varasto, poisto	23	-5,2
Keittiö, poisto	14	-12,8
Kylpyhuone, poisto	15	-12,8
Asuinhuone, tulo	3	+6,8
Ruokailutila, tulo	7	+9,3
Makuuhuone, KTS-125	3	+6,2
Makuuhuone, OKI-125	2	+4,4
Aula, tulo	3	+3,8

Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, vaihe 1

4	Rakennuksen laajuustiedot					
5	Rakennustilavuus	510 rak-m³	Huonekorkeus	2,6 m	Ilmatilav., V, lämpimät tilat	
6	Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	115 krs-taso-m²	Kerroskorkeus	3,0 m	Ilmatilav., V, puoliämpimät tilat	
7					405,0 m²	
8	PERUSTIEDOT					
9	Pinta-alat, m², (A)		U-arvot, W/(m² K), (U)			
10	Lämpimät tilat	Vertailuarvo	Suunn.arvo	Enimmäisarvo	Suunn.a.	
11	Ulkoseinä	193,99	189,71	0,24	0,60	
12	Yläpohja	81,52	81,52	0,15	0,60	
13	Alapohja (ulkolmaan rajoittuva)			0,15	0,60	
14	Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) 1)			0,19	0,60	
15	Alapohja (maanvastainen)	79,52		0,24	0,60	
16	Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60	
17	Ikkunat	17,25	21,53	1,40	1,80	
18	Ulkio-ovet	3,10		1,40	-	
19	Kattokkunat			1,50	1,80	
20	Lämpimät tilat yhteensä	375,4	375,4			
21	Puoliämpimät tilat					
22	Ulkoseinä			0,38	0,60	
23	Yläpohja			0,28	0,60	
24	Alapohja			0,28	0,60	
25	Alapohja (maanvastainen)			0,34	0,60	
26	Muu maanvastainen rakennusosa			0,34	0,60	
27	Ikkunat			1,80	2,80	
28	Ulkio-ovet			1,80	-	
29	Kattokkunat			1,80	2,80	
30	Puoliämpimät tilat yhteensä					
31						
32	VAIPAN ILMAVUODOT					
33	Vuotoilma	Vuotoilma, m³/s, [n ₅₀]	Vuotoilma, m³/s, [q _{v,v} =n ₅₀ ·25xV/3600]	Suunnitteluarvo		
34	Lämpimät tilat	4,0	4,0	0,0180		
35	Puoliämpimät tilat	4,0	4,0			
36						
37	ILMANVAIHTO					
38	Halittu ilmanvaihto	Poistoilmavirta, m³/s, [q _p]	LTO:n vuosihyötysuhde, %, η _s	Suunnitteluarvo		
39	Lämpimät tilat	0,078	30	50,0		
40	Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0			
41	Puoliämpimät tilat		30			
42	Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0			
43						
44	Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus					
45	Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					
46	Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					
47	1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 RakM:n osan D3 mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ulkolmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila. Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.					
48						
49						

Lämpöhäviön määräysten mukaisuuden tarkistustulosta

Julkisivun pinta-ala 214,3 m²
Ikkunapinta-ala on 18,7 % maanpäällisestä kerrostasolasta
Ikkunapinta-ala on 10,0 % julkisivun pinta-alasta
Vertailukunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivun pinta-alasta.
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala on sama molemmissa ratkaisuissa
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruissa
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhte on enintään 1,2
Suunnitteluarvo on 0,99
Puoliämpimissä tiloissa
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen
Lämpöhäviö on 90,0 %, lämpimissä tiloissa
Lämpöhäviö on %, puoliämpimissä tiloissa
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset
kyllä ei
X

Lisäselvitykset

Rakennuksen vuotoilma (osa D3)
Jos lämpöhäviö laskelmassa vaipan ilmanvuotoluvun n₅₀ suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä lisäselvitys.
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde (osa D2)
Jos lämpöhäviö laskelmassa LTO:n vuosihyötysuhteen suunnitteluarvo on suurempi kuin 30 %, on siitä esitettävä lisäselvitys.
kyllä ei
X

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaseus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 60 %
vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä ja vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaseus
vertailuarvo, W/K 116,1
-lämpimissä tiloissa
-puoliämpimissä tiloissa
kyllä ei
X

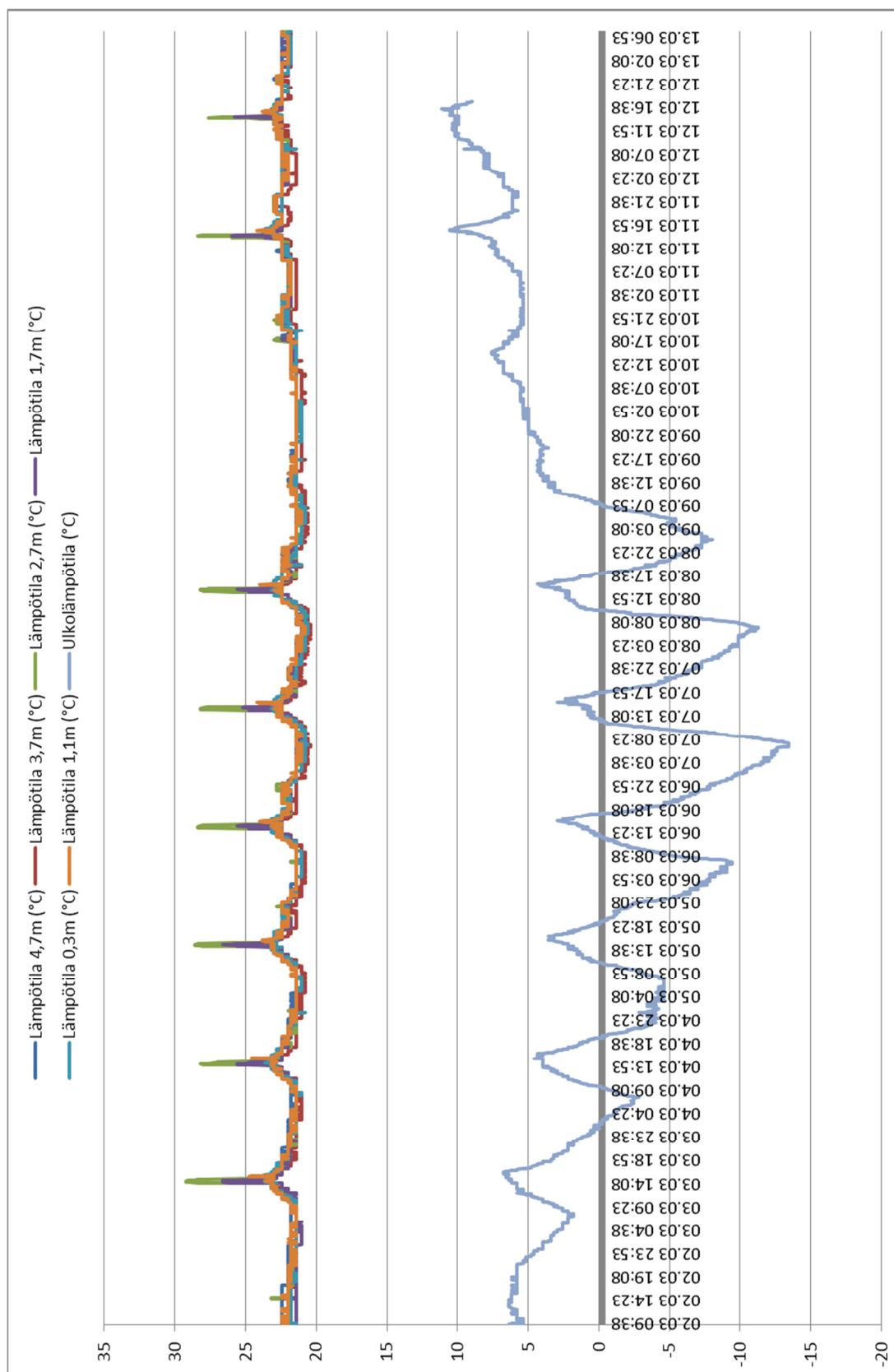
[illegible]

Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, vaihe 2

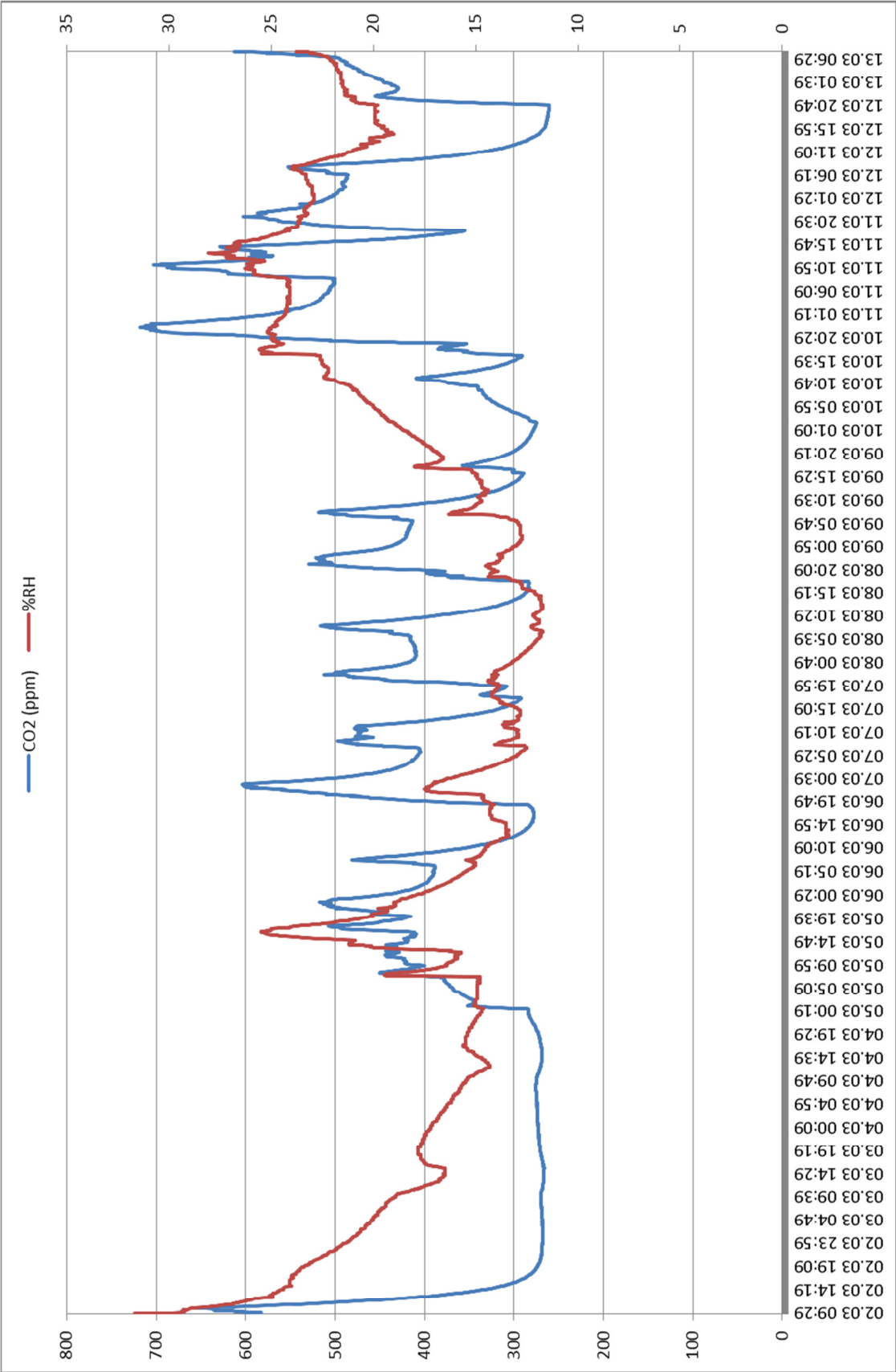
4	Rakennuksen laajuustiedot							
5	Rakennustilavuus	510 rak-m ³	Huonekorkeus	2,6 m				
6	Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	115 krs-taso-m ²	Kerroskorkeus	3,0 m				
7								
8	Perustiedot							
9	RAKENNUSOSAT		Pinta-alat, m ² , (A)		U-arvot, W/(m ² K), (U)			
10	Lämpimät tilat	Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vertailua.	Enimmäis.	Suunn.a.		
11	Ulkoseinä	193,99	189,71	0,24	0,60	0,25		
12	Yläpohja	81,52	81,52	0,15	0,60	0,16		
13	Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,15	0,60			
14	Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) 1			0,19	0,60			
15	Alapohja (maanvastainen)	79,52		0,24	0,60	0,14		
16	Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60			
17	Ikkunat	17,25	21,53	1,40	1,80	1,40		
18	Ulkio-ovet	3,10		1,40	-	1,40		
19	Kattoikkunat			1,50	1,80			
20	Lämpimät tilat yhteensä	375,4	375,4					
21	Puolilämpimät tilat							
22	Ulkoseinä			0,38	0,60			
23	Yläpohja			0,28	0,60			
24	Alapohja			0,28	0,60			
25	Alapohja (maanvastainen)			0,34	0,60			
26	Muu maanvastainen rakennusosa			0,34	0,60			
27	Ikkunat			1,80	2,80			
28	Ulkio-ovet			1,80	-			
29	Kattoikkunat			1,80	2,80			
30	Puolilämpimät tilat yhteensä							
31								
32	VAIPAN ILMAVUODOT							
33	Vuotoilma	Ilmanvuotoluuku, 1/h, [n ₅₀]		Vuotoilv., m ³ /s, [q _v = n ₅₀ / 25 x V / 3600]				
34	Lämpimät tilat	Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vertailuarvo	Suunniteluarvo			
35	Puolilämpimät tilat	4,0	0,5	0,0158	0,0021			
36		4,0	0,5					
37	ILMANVAIHTO							
38	Hallittu ilmanvaihto	Poistoilmavirta, m ³ /s, [q _p]		LTO:n vuosihyötysuhde, %, n _p				
39	Lämpimät tilat	Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vertailuarvo	Suunniteluarvo			
40	Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta	0,052		30	50,0			
41	Puolilämpimät tilat			0				
42	Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			30				
43				0				
44	Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
45	Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	Vertailuarvo		Suunniteluarvo				
46	Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	169,0		139,4				
47								
48								

[illegible]

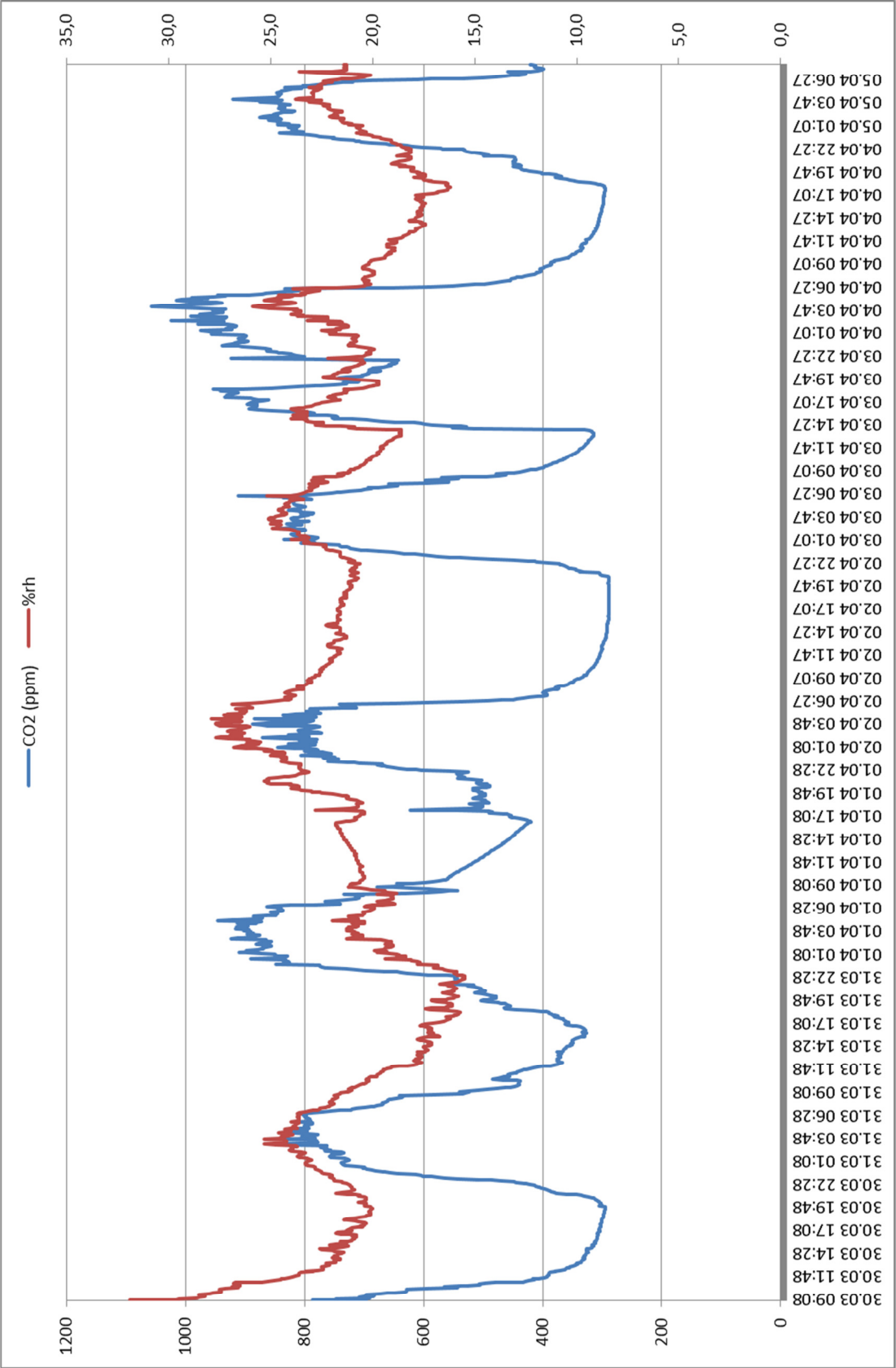
Sisäilman lämpötilat ja arvioidut ulkoilman lämpötilat remontin jälkeen



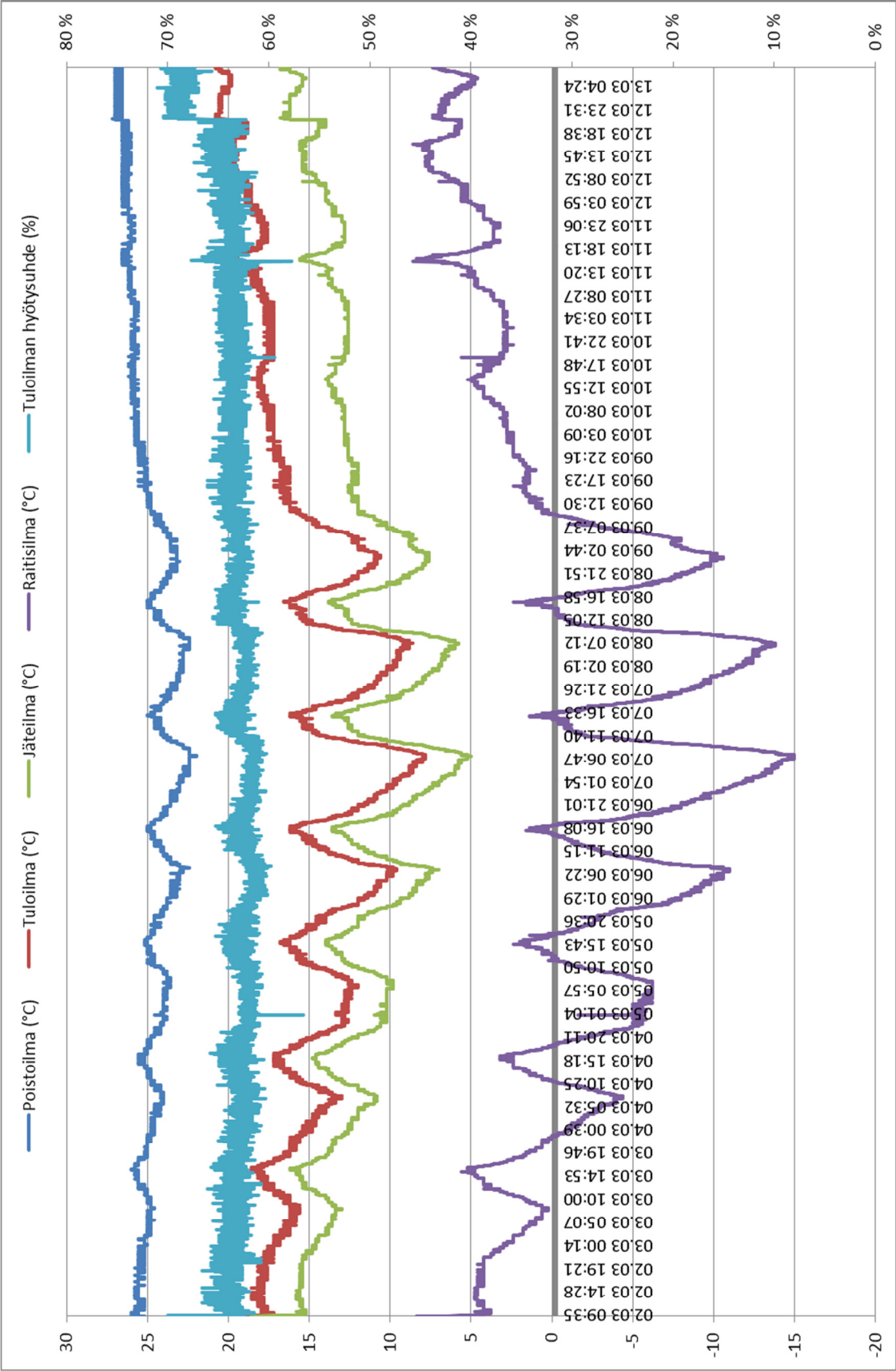
Olohuoneen hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus remontin jälkeen



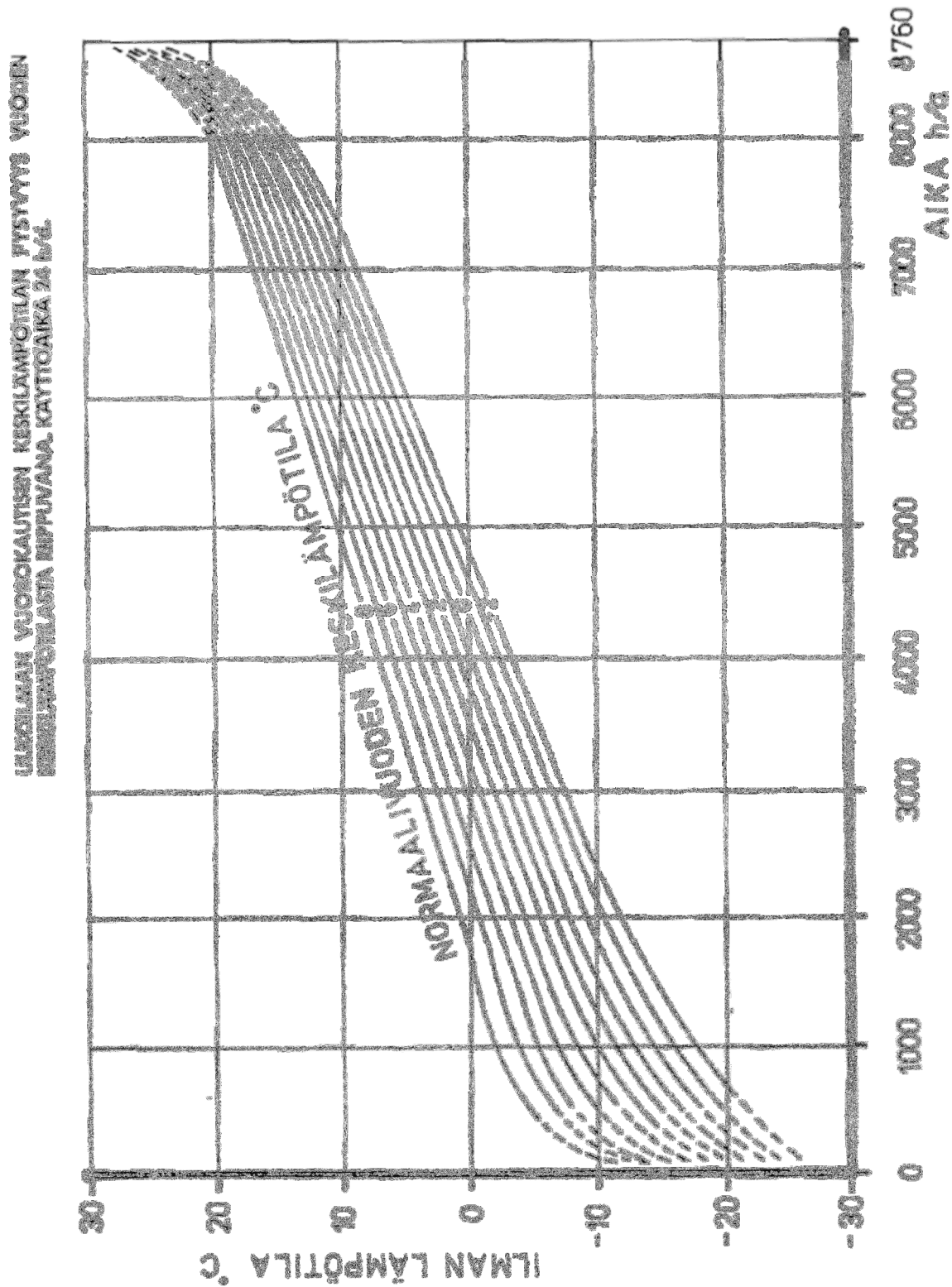
Makuuhuoneen hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus remontin jälkeen



LTO-mittausten tulokset



Lämpötilan pysyvyyskäyrä



Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, vaihe 3

7 RAKENIUS, RAKENTEET (Näytelaskelmissa tarvittavat rakennuksen ja rakenteiden laajuusiedot ja U-arvot ilmoitetaan lämpötilaväiden tasauslaskentataulukossa.)

	A_{br} brm ²	$C_{rakennin}$ Wh/brm ² K	$T_{r,i}$ °C	$\Delta T_{massavai}$ °C	Asuntojen lukumäärä	$Q_{rakennin}$ kWh/brm ² vuos
9	137.5	70.0	21.0	5.0	1	8
10						
11						
12						
13	Ikk./ilmansuunnat					
14	Lämpö- A_{ikk} m ²	7.3				
15	mit U W/m ² K	1.40				
16	tilat g_{kikk} -	0.55				
17	g g	0.495				
18	F_{kikk} F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-	1	1			
19	F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-	100	100	100	100	100
20	F_{kikk} F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-	100	100	100	100	100
21	F_{kikk} F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-	100	100	100	100	100
22	Tammikuu -/-	100	100	100	100	100
23	Helmikuu -/-	100	100	100	100	100
24	Maaliskuu -/-	100	100	100	100	100
25	Huhtikuu -/-	100	100	100	100	100
26	Toukokuu -/-	100	100	100	100	100
27	Kesäkuu -/-	100	100	100	100	100
28	Heinäkuu -/-	100	100	100	100	100
29	Elokuu -/-	100	100	100	100	100
30	Syyskuu -/-	100	100	100	100	100
31	Lokakuu -/-	100	100	100	100	100
32	Marraskuu -/-	100	100	100	100	100
33	Joulukuu -/-	100	100	100	100	100
34	Ikk./ilmansuunnat					
35	Peoli- A_{ikk} m ²					
36	Lämpö- U W/m ² K					
37	mit g_{kikk} -					
38	tilat g g					
39	F_{kikk} F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-					
40	F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-					
41	F_{kikk} F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-					
42	F_{kikk} F_{ylvar}/F_{ilvar} -/-					
43	Tammikuu -/-					
44	Helmikuu -/-					
45	Maaliskuu -/-					
46	Huhtikuu -/-					
47	Toukokuu -/-					
48	Kesäkuu -/-					
49	Heinäkuu -/-					
50	Elokuu -/-					
51	Syyskuu -/-					
52	Lokakuu -/-					
53	Marraskuu -/-					
54	Joulukuu -/-					
55						

[illegible]

ENERGIANKULUTUSLA SKELMIEN TULOKSET, HELSINKI													
RakN:n Energia		Energiankulutukset kuukaussittain, kWh											
D5kaava		Tammii	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
8	RadN:n	2086,1	1962,1	1602,2	1312,6	720,6	341,8	445,1	353,2	773,2	1204,5	1338,6	1755,5
9	D5kaava	2086,1	1962,1	1602,2	1312,6	720,6	341,8	445,1	353,2	773,2	1204,5	1338,6	1755,5
10	4.1	Q _{gsm}	87,9	86,6	103,8	108,2	111,8	87,9	79,9	89,6	63,9	61,8	71,9
13	4.1	Q _{gsm}	87,9	86,6	103,8	108,2	111,8	87,9	79,9	89,6	63,9	61,8	71,9
14	4.1	Q _{gsm}	87,9	86,6	103,8	108,2	111,8	87,9	79,9	89,6	63,9	61,8	71,9
15	4.5	Q _{gsm}	55,1	51,8	42,3	34,7	19,0	11,8	9,3	20,4	31,8	35,4	46,4
16	4.9	Q _{gsm}	790,6	757,6	520,2	401,6	220,5	104,6	108,1	236,6	368,5	409,6	605,9
17	4.9	Q _{gsm}	1531,4	1454,3	1089,2	867,7	476,4	226,0	233,5	511,2	796,3	884,9	1229,3
18	4.12	Q _{gsm}	740,8	696,7	568,9	466,1	255,9	121,4	125,4	274,6	427,7	475,3	623,4
19	4.13	Q _{gsm}											
20	4.14	Q _{gsm}											
28	4.15	Q _{gsm}	601,2	560,8	490,4	420,2	288,7	198,0	204,6	296,7	399,4	426,1	525,5
29	8.17	Q _{gsm}	2418,6	2297,3	1778,2	1437,0	783,2	357,9	345,9	803,1	1289,3	1419,3	1954,2
30	5.1	Q _{gsm}	85,7	77,4	85,7	83,0	85,7	83,0	85,7	83,0	85,7	83,0	85,7
31	T 6.1	Q _{gsm}	288,8	288,8	192,5	192,5	96,3			96,3	192,5	288,8	288,8
32	T 6.1	Q _{gsm}	288,8	288,8	192,5	192,5	96,3			96,3	192,5	288,8	288,8
33	T 6.1	Q _{gsm}	288,8	288,8	192,5	192,5	96,3			96,3	192,5	288,8	288,8
34	6.1	Q _{gsm}	288,8	288,8	192,5	192,5	96,3			96,3	192,5	288,8	288,8
35	6.2.3	Q _{gsm}	87,6	79,1	87,6	84,8	87,6	84,8	87,6	84,8	87,6	84,8	87,6
36	6.36.4	Q _{gsm}	21,0	19,0	21,0	20,3	21,0	20,3	21,0	20,3	21,0	20,3	21,0
37	6.2.6	Q _{gsm}	89,3	80,6	89,3	86,4	89,3	86,4	89,3	86,4	89,3	86,4	89,3
38	6.2	Q _{gsm}	197,9	178,7	197,9	191,5	197,9	191,5	197,9	191,5	197,9	191,5	197,9
39	T 7.1	Q _{gsm}	49,0	44,3	49,0	47,5	49,0	47,5	49,0	47,5	49,0	47,5	49,0
40	T 7.1	Q _{gsm}	50,2	45,4	50,2	48,6	50,2	48,6	50,2	48,6	50,2	48,6	50,2
41	T 7.1	Q _{gsm}	157,7	142,4	157,7	152,6	157,7	152,6	157,7	152,6	157,7	152,6	157,7
42	7.1	Q _{gsm}	256,9	232,1	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9
43	8.1	Q _{gsm}	93,4	84,4	93,4	90,4	93,4	90,4	93,4	90,4	93,4	90,4	93,4
44	8.3	Q _{gsm}	202,1	202,1	134,8	134,8	67,4			67,4	134,8	202,1	202,1
45	8.4	Q _{gsm}	124,7	112,6	124,7	120,6	124,7	120,6	124,7	120,6	124,7	120,6	124,7
46	8.5	Q _{gsm}	192,7	174,0	192,7	186,5	192,7	186,5	192,7	186,5	192,7	186,5	192,7
47	8.6	Q _{gsm}	59,1	50,8	59,1	47,4	43,8	34,7	35,0	24,0	48,9	43,3	33,5
48	8.11	Q _{gsm}	672,0	623,9	672,0	616,5	672,0	616,5	672,0	616,5	672,0	616,5	672,0
49	8.19	Q _{gsm}	110,1	111,2	105,4	103,9	103,2	99,4	97,1	93,0	100,1	100,7	105,7
53	8.13&8.14	Q _{gsm}	1000	0,999	0,995	0,976	0,799	0,401	0,595	0,449	0,992	0,998	1,000
54	8.12	Q _{gsm}	672,0	623,4	672,0	616,5	672,0	616,5	672,0	616,5	672,0	616,5	672,0
55	3.9	Q _{gsm}	2347,8	2034,7	2329,3	877,8	339,2	198,2	229,4	204,9	430,2	1198,0	1823,7
56	3.8	Q _{gsm}	2636,5	2323,4	1521,8	1070,3	435,5	198,2	229,4	204,9	430,2	1198,0	1823,7
57	3.10	Q _{gsm}	283,6	256,2	283,6	274,5	283,6	274,5	283,6	274,5	283,6	274,5	283,6
59	4.14	Q _{gsm}											
60	4.14	Q _{gsm}											
61	4.14	Q _{gsm}											
65	3.7	Q _{gsm}	2920,1	2579,6	1805,4	1344,8	719,1	472,7	513,0	488,5	813,7	1761,2	2396,1
67	3.1	Q _{gsm}	256,9	232,1	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9
68	3.4	Q _{gsm}	2920,1	2579,6	1805,4	1344,8	719,1	472,7	513,0	488,5	813,7	1761,2	2396,1
69	3.1	Q _{gsm}	256,9	232,1	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9	248,6	256,9
70	T 7.1	Q _{gsm}											
71	T 7.1	Q _{gsm}											
72	T 7.1	Q _{gsm}											
73	7.1	Q _{gsm}											
74	3.4	Q _{gsm}											
75	L2.2	Q _{gsm}											
76	3.11	Q _{gsm}											
77	3.5	Q _{gsm}											
78	3.5	Q _{gsm}											
79	3.3	Q _{gsm}	3177,0	2811,7	2082,4	1593,4	976,0	721,3	789,9	745,5	1062,4	1663,2	2653,0
81	3.6	Q _{gsm}	3177,0	2811,7	2082,4	1593,4	976,0	721,3	789,9	745,5	1062,4	1663,2	2653,0

Laskimen lähtötieto- ja tulossivut, remontin jälkeen

7 RAKENNUS, RAKENTEET (Muut laskelmissa tarvittavat rakennuksen ja rakenteiden laajuustiedot ja U-arvot, ilmoitetaan lämpöhäviöiden tasauslaskentaulukossa.)

	A _{ov} brm ²	C _{akennin} Wh/brm ² K	T _{sis} °C	T _{sis} °C	ΔT _{raaka-veden} °C	Asuntojen lukumäärä	Q _{akennin} kWh/brm ² /vuos
9	137,5	70,0	21,7	5,0	1	8	
10							
11							
12							
13	Ikk./ilmansuunnat						
14	Lämpim. A _{ikk} m ²	7,3					
15	mät U Wh/m ² K	1,40					
16	tilat g _{raaka-veden}	0,55					
17	g	0,495					
18	F _{raaka-veden}	0,75					
19	F _{raaka-veden} /F _{sisu-veden}	1					
20	F _{raaka-veden} /F _{sisu-veden}	1,00					
21	Tammikuu - / - / -	1,000					
22	Heinäk.	1,000					
23	Helmi.	1,000					
24	Maalis.	1,000					
25	Huhtik.	1,000					
26	Toukok.	1,000					
27	Kesäkuu	1,000					
28	Heinäkuu	1,000					
29	Elokuu	1,000					
30	Syyskuu	1,000					
31	Lokakuu	1,000					
32	Marraskuu	1,000					
33	Joulukuu	1,000					
34	Ikk./ilmansuunnat						
35	Puoli- A _{ikk} m ²						
36	lämpim. U Wh/m ² K						
37	mät g _{raaka-veden}						
38	tilat g						
39	F _{raaka-veden}						
40	F _{raaka-veden} /F _{sisu-veden}	1,00					
41	F _{raaka-veden} /F _{sisu-veden}	1,000					
42	Tammikuu - / - / -	1,000					
43	Heinäk.	1,000					
44	Helmi.	1,000					
45	Maalis.	1,000					
46	Huhtik.	1,000					
47	Toukok.	1,000					
48	Kesäkuu	1,000					
49	Heinäkuu	1,000					
50	Elokuu	1,000					
51	Syyskuu	1,000					
52	Lokakuu	1,000					
53	Marraskuu	1,000					
54	Joulukuu	1,000					
55							

ENERGIANKULUTUSLASKELMIEN TULOKSET, HELSINKI															
/ RakMik:n DS/kaava	Energiankulutukset kuukausittain, kWh														
	Tammik.	Helmi.	Maalis.	Huhtik.	Touko.	Kesä.	Heinä.	Elo.	Syys.	Loka.	Marras.	Joulu.	Koko vuosi		
10	4.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	2066.8	1651.7	1360.5	770.0	389.7	494.5	402.7	821.1	1253.9	1386.5	1805.0	14477.9	
13	4.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	223.9	109.4	113.6	117.4	105.9	93.4	85.5	75.0	69.5	67.2	77.5	1099.5	
14	4.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	929.0	2098.4	1761.1	887.4	495.6	588.0	488.1	896.0	1323.4	1453.7	1882.4	15577.4	
15	4.5	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	56.4	53.0	43.6	35.9	20.3	13.1	10.6	21.7	33.1	36.6	47.7	382.5	
16	4.9	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	653.4	614.0	505.4	416.3	235.6	119.2	123.2	251.2	383.7	424.2	442.9	4429.9	
17	4.9	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	1411.8	1326.6	1091.9	899.4	509.0	257.6	266.2	542.8	829.0	916.6	1193.2	9571.0	
18	4.12	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	758.3	712.6	586.5	483.1	273.4	138.4	175.6	143.0	291.6	492.3	640.9	5141.1	
19	4.13	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
20	4.14	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
28	4.15	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	583.6	545.0	472.9	403.2	271.1	181.0	208.1	187.0	279.7	409.1	508.0	4430.5	
29	8.17	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	2355.3	2220.5	1837.2	872.3	444.1	544.3	434.9	889.2	1358.4	1505.4	1974.5	15959.3	
30	5.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	85.0	77.4	85.7	85.7	83.0	85.7	83.0	85.7	83.0	85.7	83.0	1009.2	
31	T.6.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	169.9	153.4	169.9	164.4	169.9	164.4	169.9	164.4	169.9	164.4	169.9	2000.0	
32	T.6.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	391.9	391.9	261.3	130.6	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	438.0	
33	T.6.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	37.2	33.6	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	438.0	
34	6.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	598.9	578.9	468.3	461.6	337.7	200.4	207.1	207.1	331.0	488.3	598.9	5050.5	
35	6.2.3	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	87.6	79.1	87.6	84.8	87.6	84.8	87.6	84.8	87.6	84.8	87.6	1041.3	
36	6.3.6.4	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	21.0	21.0	21.0	20.3	21.0	20.3	21.0	20.3	21.0	20.3	21.0	247.5	
37	6.2.6	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	89.3	80.6	89.3	86.4	89.3	86.4	89.3	86.4	89.3	86.4	89.3	1051.2	
38	6.2	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	178.7	179.9	191.5	197.9	191.5	197.9	197.9	191.5	197.9	191.5	197.9	2330.0	
39	T.7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>	49.0	44.3	49.0	47.5	49.0	47.5	49.0	47.5	49.0	47.5	49.0	577.5	
40	T.7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>	50.2	45.4	50.2	48.6	50.2	48.6	50.2	48.6	50.2	48.6	50.2	591.3	
41	T.7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>	157.7	142.4	157.7	152.6	157.7	152.6	157.7	152.6	157.7	152.6	157.7	1856.3	
42	7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>	256.9	232.1	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	3025.0	
43	8.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	93.4	84.4	93.4	90.4	90.4	93.4	93.4	90.4	93.4	90.4	93.4	1100.0	
44	8.3	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	419.3	405.2	327.8	236.4	140.3	144.9	144.9	231.7	327.8	414.6	419.3	3535.4	
45	8.4	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	124.7	112.6	124.7	120.6	124.7	120.6	124.7	120.6	124.7	120.6	124.7	1467.7	
46	8.5	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	192.7	174.0	192.7	186.5	192.7	186.5	192.7	186.5	192.7	186.5	192.7	2268.8	
47	8.6	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	59.1	250.8	398.8	471.4	438.3	494.6	348.7	359.0	240.3	199.0	48.9	3352.1	
48	8.11	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	889.2	1027.0	1137.4	1192.1	1085.5	1032.4	904.4	914.7	869.5	937.6	881.0	873.3	11724.0
49	8.18	H (W/K)	104.7	105.1	105.6	106.3	107.6	108.2	104.5	102.6	102.8	103.1	103.9	0.838	
50	8.138.14	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	999.9	998.9	998.7	995.5	976.2	942.9	959.5	947.4	988.8	997.8	998.9	0.988	
51	8.12	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	888.6	1024.7	1122.5	1138.4	827.0	443.4	538.4	433.9	772.4	916.8	854.4	9832.4	
55	3.9	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	2050.3	1740.7	1187.6	787.9	316.4	181.7	213.9	188.1	396.6	823.5	1060.2	10557.4	
56	3.8	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	2849.2	2319.6	1655.9	1249.6	654.1	382.1	421.0	395.1	727.6	1652.4	2209.5	15607.9	
57	3.10	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	283.6	256.2	274.5	283.6	274.5	283.6	283.6	274.5	283.6	274.5	283.6	3339.2	
59	4.14	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
60	4.14	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
61	4.14	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
65	3.7	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	2932.8	2575.8	1939.5	937.7	656.6	704.6	678.7	1002.1	1575.4	1926.9	2493.1	18947.1	
67	3.1	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>	1386.6	1226.5	923.6	725.7	446.5	312.7	335.2	477.2	750.2	917.6	1187.2	9022.4	
68	3.4	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>	256.9	232.1	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	3025.0	
69	3.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
70	T.7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
71	T.7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
72	T.7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
73	7.1	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
74	3.4	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
75	L2.2	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
76	3.11	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
77	3.5	Q _o <small>Q_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
78	3.5	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>													
79	3.3	W _o <small>W_o on lämmitin maksim. arvo</small>	256.9	232.1	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	248.6	256.9	3025.0	
1	1	Eräasenn.	3189.7	2807.8	2196.4	1772.7	1194.6	905.2	961.5	935.7	1250.7	1832.3	2175.5	21972.1	

Kyselylomake, palvelukonsepti

Mitä mieltä olette hankeen aikataulusta?

Aiotteko tulevaisuudessa tehdä vastaavia energiaremontteja?

Missä koitte onnistuneenne hyvin?

Mitä kehitettävää näette prosessin sen eri vaiheissa tarjouskyselystä valmistumiseen?

Kyselylomake, remontin toteutus

Vastaa kysymyksiin asteikolla 1-5, jossa 1 on heikko ja 5 erinomainen.

AIKATAULUN PITÄVYYS

Kyllä Ei

Pysyikö remontti luvatussa aikataulussa?

--	--

Mitkä seikat viivästyttivät remonttia?

Oliko remontin kesto sopiva?

1	2	3	4	5

Saitko tarpeeksi tietoa aikataulusta/työvaiheista?

Aiheutuiko remontin kestosta asumishaittoja, mitä?

Muita aikatauluun liittyviä kommentteja

TYÖTURVALLISUUS

1 2 3 4 5

Kiinnitettiinkö työturvallisuuteen huomiota?

Oliko turvallisuustoimet riittäviä?

Oliko saatavilla turvallisuutta parantavia varusteita?

Onko työntekijöitä ohjeistettu työturvallisuudesta?

Aiheutuiko asukkailla vaaratilanteita, mitä?

Aiheutuiko työntekijöille vaaratilanteita, mitä?

Muita työturvallisuuteen liittyviä kommentteja

TYÖNAIKAINEN SIISTEYS

1 2 3 4 5

Oliko työmaa siisti?

Aiheutuiko epäsiisteydestä asumishaittaa?

Kiinnitettiinkö siisteyteen tarpeeksi huomiota?

Kantautuiko likaa työmaan ulkopuolelle?

Oliko työmaa siistitty remontin jälkeen?

Muita siisteyteen liittyviä kommentteja

MELU

Kantautuiko työmaalta häiritsevää melua?

Aiheutuiko melusta asumishaittoja?

Ilmoitettiin meluhaittoista?

Oliko työntekijät suojattu melulta?

1	2	3	4	5

Muita meluun liittyviä kommentteja

PÖLY

Kantautuiko työmaalta pölyä asuintiloihin?

Kiinnitettiin pölyn muodostumiseen huomiota?

Kiinnitettiin pölyn poistamiseen huomiota?

Aiheutuiko pöly asumishaittaa?

1	2	3	4	5

Muita pölyisyyteen liittyviä kommentteja

TYÖN JÄLKI

Tyytyväisyys työn jälkeen?

Oliko lopputuote lupausten mukainen?

Saitteko tarpeeksi tietoa uusista järjestelmsistä?

Saitteko koulutusta uusien järjestelmien käytöstä?

1	2	3	4	5

Huomasitteko jotain puutteita työn jäljessä?

Muita työn jälkeen liittyviä kommentteja

Muita kommentteja remontista

Kyselylomake, sisäilmastokysely

	Hyvin	Kohtalaisesti	Huonosti
Ilmanvaihtojärjestelmä toimii mielestänne?	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Lämmitysjärjestelmä toimii mielestänne?	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
---	----------------------	----------------------	----------------------

Kommentteja lämmitys- ja/tai ilmanvaihtojärjestelmästä _____

Onko sinua vaivannut asunnossasi jokin seuraavista tekijöistä viimeisen puolen vuoden aikana?

	kyllä	ei
Liian alhainen huonelämpötila	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Liian korkea huonelämpötila	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Vaihteleva huonelämpötila	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Lattian kylmyys	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Veto	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tunkkainen ilma	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Kuiva ilma	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Riittämätön ilmanvaihto	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ilmanvaihtolaitteiden aiheuttama melu	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Homeen tai maakellarin haju	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Muut epämiellyttävät hajut	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Heikko valaistus	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Missä tiloissa ongelmat esiintyvät? _____

Mihin vuodenaikoihin tai millaisissa tilanteissa ongelmat esiintyvät? _____

	kyllä	ei
Onko teillä mahdollisuus säätää ilmanvaihtoa?	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Missä tilanteissa säädätte ilmanvaihtoa? _____

Milloin ilmanvaihto on kytketty pois? _____

Kuinka usein tuuletatte ikkunoiden kautta talvisin?

Ei koskaan	<input type="checkbox"/>
Kerran viikossa tai harvemmin	<input type="checkbox"/>
Kerran päivässä	<input type="checkbox"/>
Useamman kerran päivässä	<input type="checkbox"/>
Jatkuvasti	<input type="checkbox"/>

Kuinka usein tuuletatte ikkunoiden kautta keväisin tai syksyisin?

Ei koskaan	<input type="checkbox"/>
Kerran viikossa tai harvemmin	<input type="checkbox"/>
Kerran päivässä	<input type="checkbox"/>
Useamman kerran päivässä	<input type="checkbox"/>
Jatkuvasti	<input type="checkbox"/>

Heikko sisäilman laatu voi aiheuttaa mm. väsymystä, päänsärkyä, silmien ja nenän kutinaa ja ärsytystä, kurkun kuivuutta tai yskää. Oletteko kokeneet jotain heikosta sisäilmasta aiheutuneita terveyshaittoja?

Muita kommentteja sisäilmastoon liittyen
